



Facultad de Ingeniería

Trabajo de Investigación

**“Diseño e implementación de un
deshidratador híbrido con paneles
fotovoltaicos”**

Autor: León Rodríguez, Angel Jesús - 1511836

Para obtener el Grado de Bachiller en:

Ingeniería Mecatrónica

Lima, diciembre de 2018

RESUMEN

El presente proyecto se basa en el diseño y construcción de una máquina deshidratadora de ajos con una capacidad de al menos 10 kg por proceso, aunque puede emplearse para diversos tipos de vegetales o frutas. En el diseño se consideró las propiedades de los materiales, como el de la elaboración de la cámara de secado que es de acero inoxidable, debido a que este material está directamente en contacto con los alimentos. La máquina está gobernada por un microcontrolador de gama media PIC16F877A encargado de la maniobra, control y señalización de las variables temperatura y humedad que se muestran en una pantalla LCD 16x2 la cual se encuentra en la parte baja de la máquina. Para optimizar el proceso de deshidratado, se diseñó un control PID para mantener la temperatura constante. Además, esta máquina está diseñada de un modo más amigable para el usuario, ya que cuenta con una interfaz detallada en el LCD y una distribución de botones muy fáciles de entender. El suministro de energía del deshidratador se obtiene por medio de la energía producida por centrales hidroeléctricas, sin embargo, en caso de existir deficiencias o fallas en dicho suministro de energía, se ha diseñado y dimensionado un sistema alternativo por medio de paneles fotovoltaicos.

DEDICATORIA

A mi madre por darme el apoyo incondicional en mis años de estudios, a los docentes por sus consejos y críticas constructivas durante toda mi formación profesional y a mí enamorada por apoyarme en el desarrollo de este trabajo.

AGRADECIMIENTO

Quisiera agradecer a los docentes que contribuyeron en el presente proyecto, por apoyarme y darme ánimos de hacer este proyecto posible. Gracias por ofrecerme su confianza desde que llegué a esta casa de estudios, el cual me permitió escalar un peldaño más hacia la superación de mi vida.

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	13
1.1. Planteamiento del problema	13
1.2. Objetivos	13
1.3. Alcances de la investigación.....	14
CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO.....	16
2.1. Estado del arte	16
2.2. Modelamiento.....	33
CAPÍTULO 3: DISEÑO.....	49
3.1. Diseño del sistema mecánico	49
3.2. Diseño de la unidad de control	56
3.3. Diseño del sistema electrónico	63
3.4. Diseño del control PID.....	67
3.5. Diseño del sistema fotovoltaico	71
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	78
4.1. Simulaciones.....	78
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	83
CONCLUSIONES	83
RECOMENDACIONES	84
BIBLIOGRAFÍA	85
ANEXOS	89

INDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Cámara deshidratadora	17
Figura 2. Diagrama de bloques del controlador PID	20
Figura 3. Esquema de bloque Ziegler-Nichols a lazo cerrado	21
Figura 4. Grafica Ziegler-Nichols a lazo cerrado	21
Figura 5. Estructura física.	22
Figura 6. Símbolo eléctrico.	22
Figura 7. Rectificador en puente y filtro de condensador a la entrada	23
Figura 8. Símbolo eléctrico	24
Figura 9. Circuito de AC a DC	24
Figura 10. Tipos de Transferencia de calor	25
Figura 11. Transferencia de calor por conducción	25
Figura 12. Funcionamiento de transferencia por convección	27
Figura 13. Espectro visible por el hombre.	27
Figura 14. Partes de un panel solar	28
Figura 15. Estructura básica de un sistema fotovoltaico	29
Figura 16. Estructura de una célula solar	30
Figura 17. Diagrama en Bloques	34
Figura 18. Diagrama pictórico	34
Figura 19. Diagrama de flujo general	35
Figura 20. Diagrama de flujo del funcionamiento del deshidratador híbrido	36
Figura 21. Algoritmo de control	37
Figura 22. Curva de Temperatura	38
Figura 23. Curva de la humedad	38
Figura 24. Esquema básico de control PID	45
Figura 25. Estructura común de un horno deshidratador	49
Figura 26. Dimensiones de una bandeja	52
Figura 27. Distribución de bandejas	53
Figura 28. Soldadura TIG	55
Figura 29. Representación del modelo 3D del vidrio templado	56
Figura 30. Caja negra de un microcontrolador	57
Figura 31. Control con retroalimentación	57
Figura 32. Aspecto físico del PIC	59
Figura 33. Sensor DHT22	60
Figura 34. LCD 16x2	61

Figura 35.Integración de componentes	62
Figura 36.Partes del circuito impreso	62
Figura 37.Buzzer	63
Figura 38. Luces	64
Figura 39. Circuito entrada y salida optodiac	65
Figura 40. Grafica Cruze por cero	66
Figura 41. Fuente de alimentación seleccionado	67
Figura 42. Función de interpolación	68
Figura 43. Función de la temperatura	69
Figura 44. Diagrama de bloques en Simulink.....	70
Figura 45. Grafica de la salida en función a la deshidratadora	71
Figura 46. Esquema del mercado “La Hermelinda”	71
Figura 47.Ángulo de inclinación	72
Figura 48. Gráfica de ciclos de vida vs profundidad de descarga.....	74
Figura 49. Placa solar policristalina.....	76
Figura 50. Batería de 250 Ah	77
Figura 51.Inversor Cargador 1500W 12V	77
Figura 52.Simulación de la unidad de control.....	78
Figura 53 Placa impresa en físico	79
Figura 54.Configuración de temperatura máxima.....	79
Figura 55. Configuración de humedad mínima.....	80
Figura 56. Parámetros definidos en modo automático	80
Figura 57.Ingreso de rebanadas de ajos.....	81

Tabla 1. Costos de máquina deshidratadora propuesta por Bautista y Meza	19
Tabla 2. Ziegler-Nichols a lazo cerrado.....	21
Tabla 3. Comparación de Rectificadores con filtro condensador a la salida	23
Tabla 4. Diagrama de Bloques de una fuente de alimentación.....	24
Tabla 5. Conductividades térmicas	26
Tabla 6. Tipos de los paneles según la tecnología de fabricación de sus células.....	30
Tabla 7. Tabla de parámetros	46
Tabla 8. Valores de los parámetros mecánicos.....	53
Tabla 9. Comparación entre cristal común y cristal templado.....	56
Tabla 10. Principales características del PIC 16F877A.....	59
Tabla 11. Principales características del sensor DHT22	60

INTRODUCCIÓN

El Perú es un importante protagonista de la industria alimenticia global en diversos productos como la palta, el arándano, la quinua, entre otros. Se sabe que la agricultura es primordial para el crecimiento económico y social de un país ya que es la fuente primaria de la mayor parte de los insumos básicos y materias primas necesarios para el funcionamiento de otros sectores económicos, sin embargo el incremento de la población mundial ha originado una creciente demanda lo cual ocasiona la existencia de sobreofertas en determinados alimentos agrícolas que generan grandes pérdidas económicas para los productores y comerciantes, esto es debido al corto tiempo que tienen para vender sus productos antes que se degraden, lo que conlleva a buscar nuevas opciones y estrategias para que el productor logre vender sus productos. Según la FAO, aproximadamente la tercera parte de la producción de alimentos destinados al consumo humano se pierden, donde las frutas y hortalizas presentan porcentajes entre 35% y 45%¹. Por ello, una

¹ (FAO, 2018)

solución a este inconveniente es deshidratación los alimentos, proceso el cual consta de eliminar el agua de su interior con el fin de aumentar su vida útil, permitiendo mitigar pérdidas económicas y añadiendo valor agregado. Este método se considera como una de las técnicas más valiosas para la conservación de alimentos, es frecuentemente usada por pequeños, medianos y grandes productores de frutas, pero mientras que los grandes productores emplean deshidratadores industriales, los pequeños y medianos productores siguen usando las técnicas tradicionales puesto que no alcanzan a cubrir los altos costos de operación y mantenimiento.

Por otra parte, existen nuevas tecnologías como lo son los deshidratadores híbridos, que poseen conceptos técnicos similares a los tradicionales, sin embargo, pueden conseguir un mayor rendimiento con un mínimo de consumo de energía convencional y obtener un producto de buena calidad para el consumo humano, por ello es necesario adecuar estas propuestas en la industria alimenticia.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

En los países industrializados, el uso de fuentes alternas de energía va creciendo aceleradamente en comparación con nuestro país. Perú posee un gran potencial en energía solar, por tal motivo, es primordial implementar esta tecnología en la agricultura y sectores similares. Los comerciantes y productores agrícolas de la ciudad de Trujillo (La Libertad - Perú) habitualmente se dedican a la venta directa de sus productos, es decir, sin procesar, lo que conlleva a carecer de un valor agregado y generar bajas utilidades ya que en muchas ocasiones son forzados a vender sus productos a precios muy bajos debido a la rápida descomposición de las frutas y verduras; por lo que es necesario un proceso de deshidratación de alimentos eficiente y con ahorro de energía.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un deshidratador híbrido con paneles fotovoltaicos.

1.2.2. Objetivos específicos

- Diseñar la cámara de secado para conseguir una deshidratación homogénea en los alimentos.
- Diseñar un sistema secado que permita extraer el agua de los productos a niveles óptimos para su conservación.
- Diseñar una unidad de control que permita adaptar la máquina para su funcionamiento con diversos productos.
- Diseñar la conexión del suministro de energía, tanto la fotovoltaica como la energía eléctrica.

1.3. Alcances de la investigación

El desarrollo del presente trabajo se justifica en:

- Impacto tecnológico: El proceso de deshidratación ya es usado por agricultores, pero usando métodos artesanales, con los frutos expuestos al medio ambiente y a la radiación solar directa lo cual genera que el producto pueda contraer bacterias y decolorarse de manera que no permita su comercialización rápida por no ser de agrado a la vista. Por lo que este diseño sigue las medidas sanitarias de alimentos, usa componentes de fácil adquisición, puede mostrar en una pantalla la temperatura y humedad que hay dentro de la cámara de secado, su reducido tamaño lo hace muy favorable para que pueda ser almacenado en cualquiera cocina. Además, se optimizará el consumo de energía basado es un sistema control con retroalimentación que regula de forma automática componentes que no cumplan con lo programado.
- Impacto económico: Al ser una máquina de un costo no muy elevado, los agricultores podrán adquirirla, obteniendo sus propios frutos secos, dándoles una nueva oportunidad de venta a mayor costo, permitiendo así un ingreso monetario adicional sin tener que desechar o rematar gran porcentaje de productos debido al deterioro por el tiempo

almacenado sin un proceso de conservación correcta; esto se refiere a que cada vez se trata de obtener menos desperdicio de la materia prima, por lo que el diseño ofrece deshidratar los productos que no pudieron ser comercializadas en su momento, sin alterar su valor nutricional y aumentando su valor monetario al pasar por un proceso de deshidratación.

- Impacto social: El proyecto trae muchos beneficios a la ciudad de Trujillo, ya que tienen hay una gran cantidad de PYMES en el sector agrícola y necesitan usar esta tecnología de deshidratación de alimentos para combatir el problema de la merma de sus productos.

- Impacto medio ambiental: Se sabe que la base principal para que la economía se vaya desarrollando en los países son los combustibles fósiles como el petróleo, gas natural y carbón, pero actualmente van en decremento progresivo, sin embargo, crece el uso de energías renovables. La máquina deshidratadora no realizará una emisión de gases nocivos, ya que usará energía fotovoltaica, lo cual lo convierte muy amigable al medio ambiente, pero tendrá leves proporciones de CO_2 cuando se use la con energía de red pública, ya que es un sistema híbrido.

CAPITULO 2

PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN

2.1. Estado del arte

2.1.1. Antecedentes nacionales

Fernando Bueno y Joan Paredes de la UPC² , diseñaron e implementaron una máquina deshidratadora de frutas de bajo costo que se observa en la figura 1, el cual tenía como objetivo cumplir con todas las ventajas técnicas de las máquinas comerciales, pero ajustándose a las limitaciones económicas de los PYMES. Su equipo usó un PLC (LOGO) para el control de los dispositivos como el generador de aire forzado (ventilador), sensores de temperatura y de la termo resistencia; en la estructura del equipo se usó acero inoxidable. Para sustentar la calidad del producto final, lo autores solicitaron una evaluación con especialistas en el tema, entre ellos había chefs, empresarios del rubro alimenticio y el administrador de

²(Bueno & Paredes , 2017)

SERV. EXCLUSIVOS DE ALIMENTOS SRL”, quienes dieron su conformidad y aprobación de la buena calidad de los alimentos deshidratados que se obtuvieron.



Figura 1. Cámara deshidratadora
Fuente: Fernando Bueno y Joan Paredes

En el 2011 Juan Meza Arrieta de la UNI³ afirma en su tesis que la gran mayoría de los fabricantes de deshidratadores en el Perú prefieren hacer un equipo electromecánico con controles básicos de parámetros sin tomar en cuenta las tecnologías actuales que son más efectivos. Para evaluar los métodos de control moderno hizo uso del software MATLAB, el cual le permitió obtener simulaciones, tendencias y comportamientos para una mejor elección del método y desarrollar el algoritmo correspondiente. Lo destacable de este proyecto fue la realización de un software de control desarrollado en función de las exigencias de su proyecto, usando el lenguaje ensamblador en el PIC 16F877.

2.1.2. Antecedentes Internacionales

A nivel internacional hay diversos diseños similares al que se propone, donde se destaca el uso de energías sostenibles como: paneles fotovoltaicos y colectores solares.

“DryEcoMate” fue desarrollado por García e ingenieros en Portugal, esta máquina cuenta con paneles solares (fotovoltaicos y fototérmicos), una batería y un sistema

³ (Meza, 2011)

para conexión a red en caso sea necesario. La máquina tiene un diseño tipo caja y cuenta con un sistema que permite la recirculación de aire, su principal ventaja es ser compacta, portable y de bajo costo; el diseño tipo caja le permite acoplar los paneles solares y fotovoltaicos, lo cual admite operar independientemente de las condiciones climáticas. Para las simulaciones utilizaron el software AnSys Fluent con el cual analizaban y lograron optimizar el mejor flujo de aire en la cámara de deshidratación⁴.

Lauro Diaz desarrolló un sistema de paneles de aire forzado (con ventiladores) para un horno deshidratador de frutas con capacidad de 30 kg y hecho con acero inoxidable, a partir de una comparación de diferentes tipos de colectores solares el autor decidió usar un colector térmico solar plano con doble cubierta, para obtener una temperatura de trabajo entre 30 - 80 °C lo cual es ideal para las frutas que en promedio necesitan 70 °C. Su prototipo fue implementado con éxito, puesto que los valores calculados teóricamente fueron semejantes a lo experimental; además obtuvo un ahorro de \$1135.00 por año en costos de energía eléctrica⁵.

Erickson patentó un sistema compacto y portable para el deshidratado de frutas, realizó un diseño tipo silo (cilíndrico) y colocó un soplador en la parte inferior el cual generaba una corriente de aire que pasa por las bandejas perforadas y salía por la parte superior hacia la atmósfera; esto evitó la generación de microclimas, además de mejorar en gran parte la uniformidad del secado. Logró implementar una máquina muy eficiente y que puede almacenarse en cualquier cochera⁶.

Luis Bautista y David Meza implementaron un prototipo de deshidratador con sistema de control, orientado a la deshidratación de uvilla y piña. Ellos diseñaron

⁴ (Bueno & Paredes , 2017)

⁵ (Díaz L. , 2016)

⁶ (Erickson, 2017)

una cámara tipo caja, donde implementaron un sistema de control de flujo de aire que mejoró considerablemente el tiempo de secado, así como la humedad final del producto (12% para la piña y 16% para la uva). Para la fabricación usaron acero inoxidable por tratarse de alimentos el cual tenía la capacidad de procesar 100kg por carga, estará gobernada por un PLC (BECKHOFF) el cual se encargará del control y señalización de variables como la temperatura, humedad y tiempo, los cuales serán mostrados en una pantalla Intouch (ADVANTECH), indican también que debido a su diseño mecatrónico del sistema de recirculación de aire, lograron optimizar el tiempo de productividad. Determinaron que la máquina puede procesar 2000kg de fruta al año (teniendo en cuenta que el peso inicial disminuye en un 80% al quitar la humedad de los productos). Esto permite que la inversión inicial de 7032 dólares mostrada en la tabla 1, logrando recuperar en un solo año de producción, además que la máquina cuenta con un tiempo de vida estimado de 20 años⁷.

Tabla 1. Costos de máquina deshidratadora propuesta por Bautista y Meza

Costos Totales

Costos Indirectos	Valor (\$)
Costos Indirectos	290
Costos Directos	Valor (\$)
Materiales Mecánicos	2046
Materiales Eléctrico / Electrónicos	3157,5
Mano de Obra y Taller	900
SUBTOTAL	6393,5
IMPREVISTOS 10%	639,35
COSTO TOTAL	7032,85

Fuente: Luis Bautista y David Meza. 2016

2.1.3. Bases teóricas

2.1.3.1. Introducción a controlador PID

El controlador PID, está basado en la retroalimentación de un bucle de control genérico, el cual calcula un valor “error” en base a la diferencia entre

⁷ (Bautista & Meza, 2016)

una variable medida y un valor deseado. Para optimizar el uso del controlador PID, las variables utilizadas para el cálculo deben ser ajustadas de acuerdo con el sistema a implementar. El cálculo del controlador PID involucra tres parámetros denominados: Proporcional, integral y derivado.

2.1.3.2. Teoría de control PID

La dinámica del lazo se cerrado se obtiene calibrando los parámetros K_p , K_i y K_d como se muestra en la figura 2, a menudo se realiza sin necesidad de conocer el modelo de la planta. Para lograr estabilizar un sistema casi siempre solo se consigue usando el termino proporcional, pero además si quiere disminuir las perturbaciones podemos usar el término integral, además si se requiere amortiguar o configurar la respuesta se puede usar el término derivado.

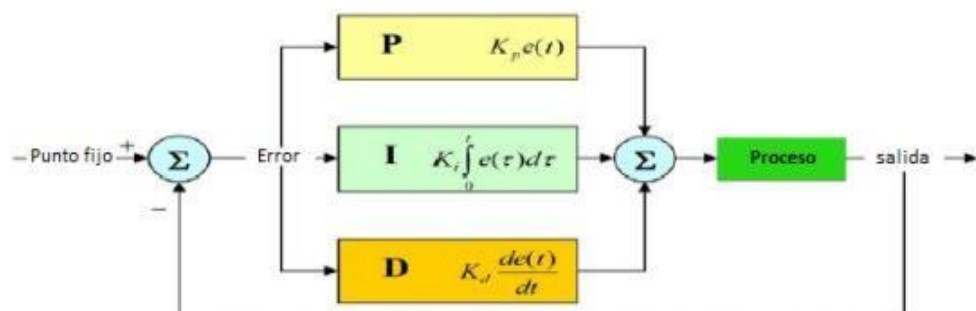


Figura 2. Diagrama de bloques del controlador PID
Fuente: Blascarr 2018

2.1.3.3. Métodos clásicos de ajuste Ziegler-Nichols lazo cerrado

Primero se debe eliminar los efectos de la parte integral y derivativa, luego solo utilizando la ganancia K_p , se busca que el sistema solo tenga oscilaciones sostenidas hasta que el valor de la ganancia llegue a un valor critico K_{cr} , el cual corresponde a un periodo T_{cr} . En la figura 3 y 4 se muestran los procesos descritos y su grafica respectivamente.

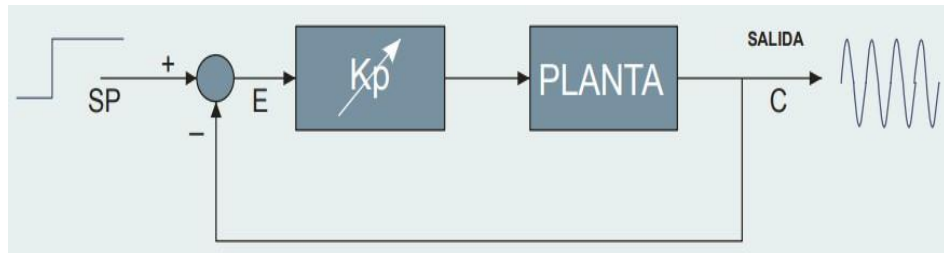


Figura 3. Esquema de bloque Ziegler-Nichols a lazo cerrado
Fuente: Teoría de control

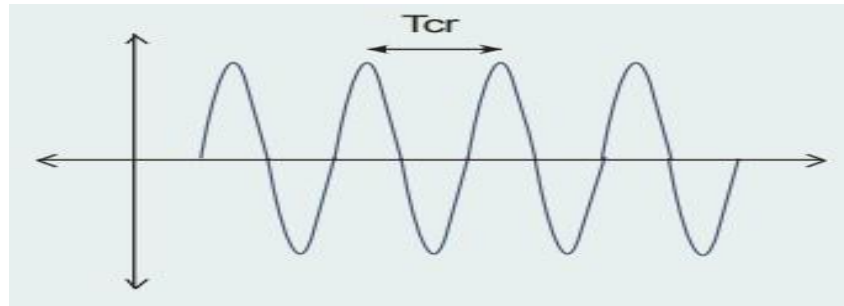


Figura 4. Grafica Ziegler-Nichols a lazo cerrado
Fuente: Teoría de control

Con K_{cr} y T_{cr} se obtienen los parámetros PID mediante la tabla 2:

Tabla 2. Ziegler-Nichols a lazo cerrado

TIPO DE CONTROLADOR	K_p	T_i	T_d
P	$0.5 K_{cr}$		
PI	$0.45 K_{cr}$	$\frac{T_{cr}}{1.2}$	
PID	$0.6 K_{cr}$	$\frac{T_{cr}}{2}$	$\frac{T_{cr}}{8}$

Fuente: Teoría de control

2.1.3.4. Diodos

Es un componente electrónico que consta de la unión de un semiconductor de tipo P con otro de tipo N, su utilidad se basa en pasar la intensidad eléctrica únicamente en un sentido del extremo P (ánodo) al extremo N (cátodo). En la figura 5 se observa su símbolo eléctrico.

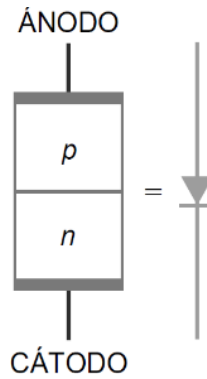


Figura 5. Estructura física.
Fuente: Principios de electrónica ⁸

2.1.3.5. Transformadores

El transformador es un dispositivo eléctrico que aumenta o reduce la tensión de entrada a niveles más adecuados por medio de interacción electromagnética y manteniendo su frecuencia de trabajo. En la figura 6, se observa su símbolo eléctrico.

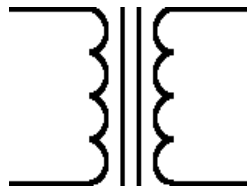


Figura 6. Símbolo eléctrico.
Fuente: Ing. Carlos Bricio Chapula Física III⁹.

2.1.3.6. Rectificadores

Es un elemento o circuito encapsulado que puede convertir una señal eléctrica alterna en una continua. Hay tres tipos de rectificadores vigentes en el mercado: Media onda, completa, en puente. En la tabla 3 se observan sus principales características de los cuales se analiza las ventajas y desventajas de usarlos.

⁸ (Malvino, 2007)

⁹ Ir al siguiente enlace: (<http://proyectofisica3.blogspot.com/2011/11/transformadores.html>)

Tabla 3. Comparación de Rectificadores con filtro condensador a la salida

	Media onda	Onda completa	En puente
Número de diodos	1	2	4
Entrada del rectificador	$V_{p(2)}$	$0,5V_{p(2)}$	$V_{p(2)}$
Salida de continua (ideal)	$V_{p(2)}$	$0,5V_{p(2)}$	$V_{p(2)}$
Salida de continua (2ª aproximación)	$V_{p(2)} - 0,7 \text{ V}$	$0,5V_{p(2)} - 0,7 \text{ V}$	$V_{p(2)} - 1,4 \text{ V}$
Frecuencia de rizado	f_{in}	$2f_{in}$	$2f_{in}$
PIV	$2V_{p(2)}$	$V_{p(2)}$	$V_{p(2)}$
Corriente de diodo	I_{dc}	$0,5I_{dc}$	$0,5I_{dc}$

* $V_{p(2)}$ = tensión de pico en el secundario; $V_{p(out)}$ = tensión de pico de salida; I_{dc} = corriente continua de carga.

Fuente: Principios de electrónica ¹⁰

El rectificador en puente, al tener 4 diodos como se muestra en la figura 7, destaca sobre los demás debido a que puede emplear toda la tensión del secundario en la entrada del rectificador, esto conlleva a que necesite menos espiras en el transformador, por lo que será más pequeño y ligero, además de más barato.

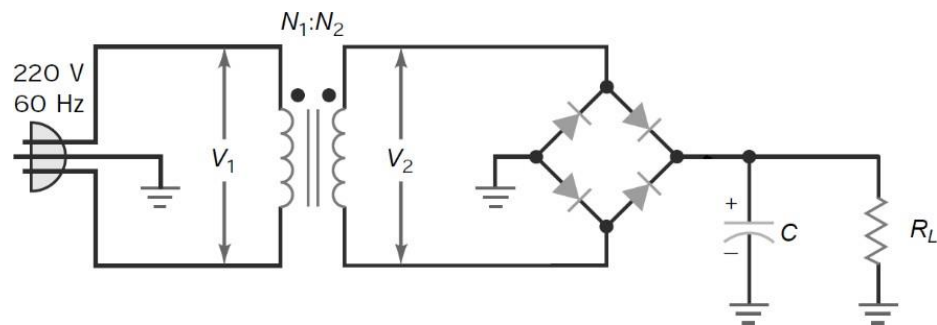


Figura 7. Rectificador en puente y filtro de condensador a la entrada.

Fuente: Principios de Electrónica

En la figura 7 se observa un circuito casi lineal, pero tiene presencia de rizados, por lo que para estabilizar este problema se añade un regulador que se conecta paralelo, el cual proporciona una tensión de salida constante. En la figura 8 se muestra diagrama de conexión para su funcionamiento.

¹⁰ (Malvino, 2007)

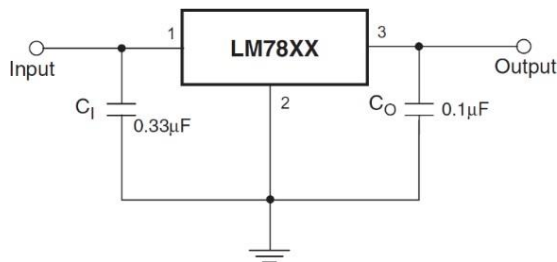


Figura 8. Símbolo eléctrico
Fuente: Reglador de voltaje LM7805 Datasheet

Finalmente, en la figura 9 se representa el circuito correcto de AC a DC.

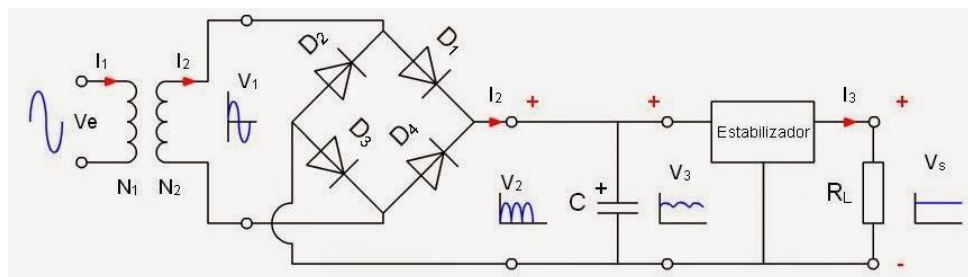
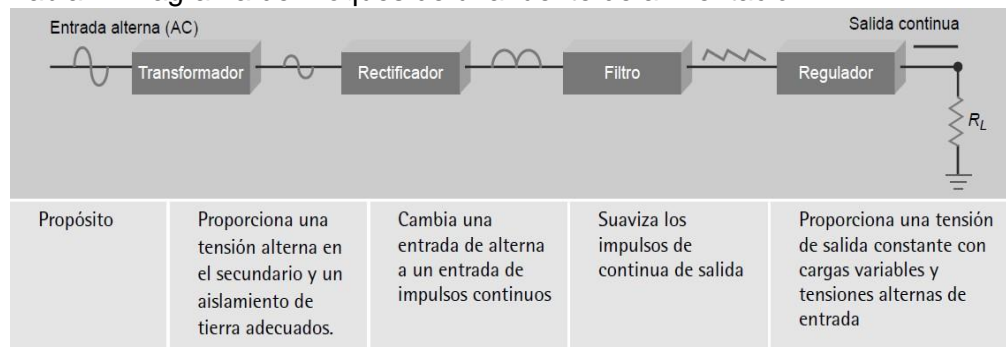


Figura 9. Circuito de AC a DC.
Fuente: <http://fuentepc.blogspot.com/>

En resumen, en la tabla 4 se muestran los pasos que se deben tener en cuenta para transformar una entrada en AC a una salida de DC.

Tabla 4. Diagrama de Bloques de una fuente de alimentación



Fuente: Principios de Electrónica ¹¹

2.1.3.7. Transferencia de calor

La transferencia de energía como el calor siempre se produce desde el cuerpo con mayor temperatura hacia el de menor temperatura y se detiene

¹¹ (Malvino, 2007)

cuando los dos medios alcanzan la misma temperatura. En la figura 10 se observa los tres mecanismos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación.

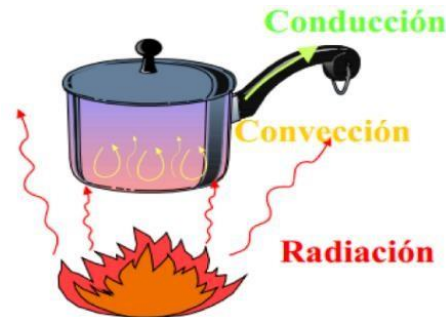


Figura 10. Tipos de Transferencia de calor
Fuente: Mecanismos de transferencia de calor

2.1.3.8. Conducción

Es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las menos energéticas adyacentes, debido a interacciones entre las partículas¹². Además, la conducción puede presentarse en los sólidos, líquidos o gases. La figura 11 muestra una varilla de material conductor y como el calor fluye de izquierda a derecha

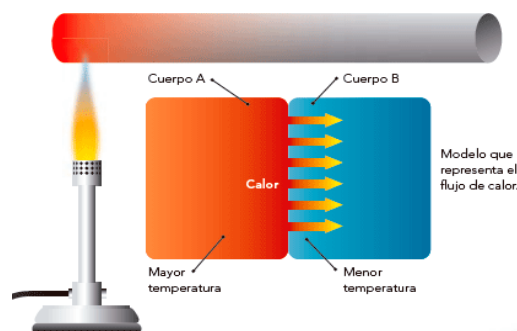


Figura 11. Transferencia de calor por conducción
Fuente: <https://alisondajanna7.wordpress.com>

La conductividad térmica del material es la medida de la capacidad de los materiales para conducir el calor, mientras más elevado sea su

¹² (Cengel & Boles, 2012)

conductividad térmica indica que el material es un buen conductor del calor. En la tabla 5 se muestran las conductividades térmicas de algunos materiales más comunes.

Tabla 5. Conductividades térmicas

Sustancia	k (W/m · K)	Sustancia	k (W/m · K)
<i>Metales</i>		Fibra de vidrio	0.04
Aluminio	205.0	Vidrio	0.8
Latón	109.0	Hielo	1.6
Cobre	385.0	Lana mineral	0.04
Plomo	34.7	Espuma de poliestireno	0.027
Mercurio	8.3	Madera	0.12–0.04
Plata	406.0	<i>Gases</i>	
Acero	50.2	Aire	0.024
<i>Sólidos (valores representativos)</i>		Argón	0.016
Ladrillo aislante	0.15	Helio	0.14
Tabique (ladrillo rojo)	0.6	Hidrógeno	0.14
Concreto (hormigón)	0.8	Oxígeno	0.023
Corcho	0.04		

Fuente: Física Universitaria Sears y Zemanky 2014

2.1.3.9. Convención

Es el mecanismo de transferencia de calor causada mediante el movimiento de masa o circulación dentro de la sustancia como se observa en la figura 12, puede ser natural (debido a la diferencia de densidades ocasionados por expansión térmica, como el ascenso de aire caliente) o forzada (cuando la materia es obligada a moverse de un lugar a otro, por ejemplo, el agua por medio de una bomba o el aire mediante un ventilador). El mecanismo de transferencia de calor más significativo dentro del cuerpo humano es la convención forzada de sangre, bombeada por el corazón, por ello que se puede mantener la temperatura constante en diferentes entornos¹³.

¹³ <https://alisondejanna7.wordpress.com/ley-de-los-gases-ideales/calor/conduccion-de-calor/>

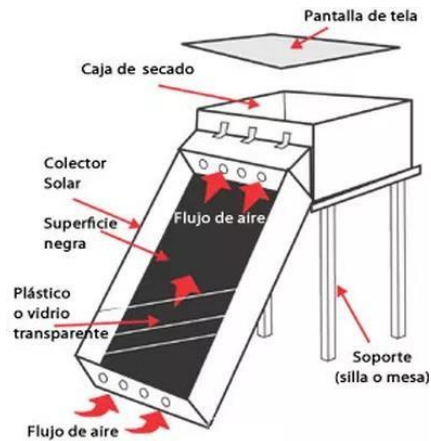


Figura 12. Funcionamiento de transferencia por convección.
Fuente: <https://www.yo-reciclo.org>

2.1.3.10. Radiación

Es la transferencia de calor por ondas electromagnéticas como la luz visible, radiación infrarroja y la radiación ultravioleta mostradas en la figura 13. Casi todo el calor de los cuerpos calientes, así como el intenso calor de un asador de carbón o las brasas en una chimenea, no nos llega ni por conducción ni por convección en el aire intermedio, sino por radiación. Por otra parte, es de interés la radiación térmica ya que es la energía emitida por la materia que se encuentra a una determinada temperatura producida directamente a partir de la fuente hacia afuera en todas las direcciones¹⁴. Mayormente formas de energía que libera el sol es radiación infrarroja.

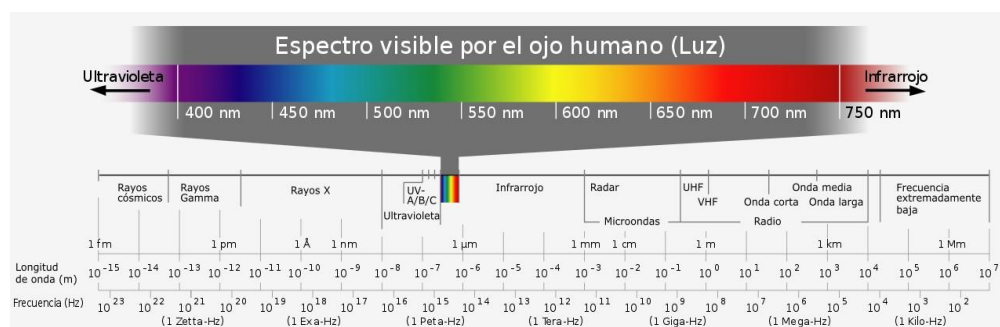


Figura 13. Espectro visible por el hombre.
Fuente: Amauri Vidal Castrejón

¹⁴ (Ruiz & Silva, 2005)

2.1.3.11. Panel Fotovoltaico

Son dispositivos tecnológicos que aprovechan la energía solar para producir electricidad. Está constituido por un conjunto de células conectadas eléctricamente, encapsuladas y montadas sobre una estructura de soporte el cual debe proporcionar una rigidez adecuada, en la figura 14 se detallan sus principales partes; las células se pueden conectar en serie o en paralelo, se conectan en serie para aumentar la corriente y en paralelo para aumentar su voltaje ¹⁵ . El panel fotovoltaico proporciona en su salida una tensión continua de diferentes valores de tensión como: 6V, 12V, 24V, etc.

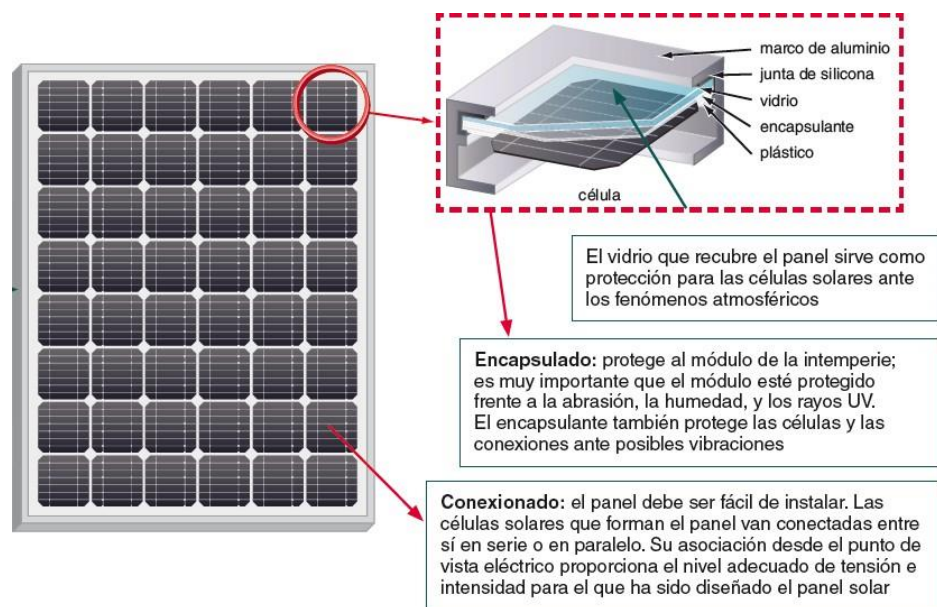


Figura 14. Partes de un panel solar
Fuente: Díaz & Carmona, 2010

Debido a que los módulos fotovoltaicos FV generan corriente directa (DC), ésta se puede almacenar en baterías. Sin embargo cuando se desee dar servicio a dispositivos que funcionan con corriente alterna (AC), como la mayoría de los productos en un hogar, es necesario hacer uso de un

¹⁵ (Díaz & Carmona, 2010)

inversor, el cual es un dispositivo electrónico que transforma la corriente continua a corriente alterna con el máximo rendimiento factible [9]. En la figura 15 se indica la estructura de conexionado.

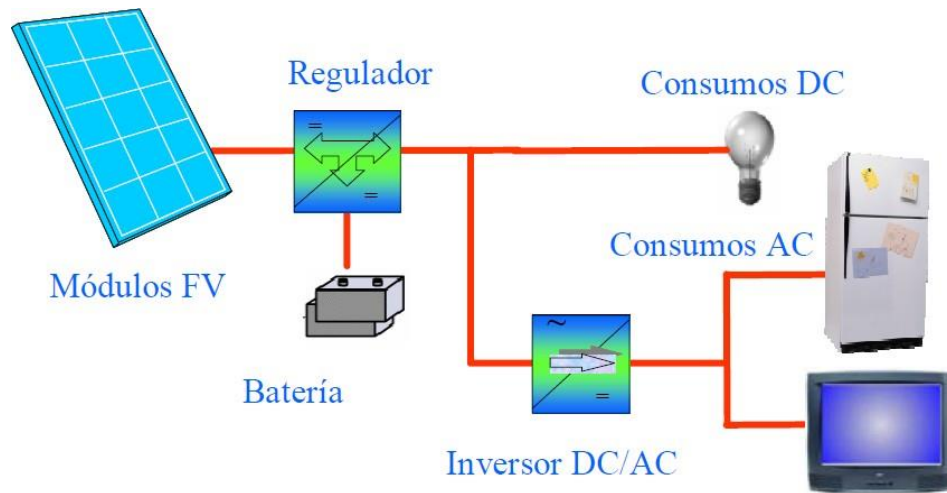


Figura 15. Estructura básica de un sistema fotovoltaico
Fuente: Alonso Abella Miguel

2.1.3.12. Célula Fotovoltaica

Es el elemento principal de los paneles fotovoltaicos, debido a que es el causante de la obtención de electricidad con la luz del sol. Una célula fotovoltaica está hecha de material semiconductor y se comporta semejante a un diodo: la parte expuesta a la radiación solar es la N (Negativo) y la parte opuesta situada en la oscuridad, la P (positivo) como observa en la figura 16. Cuando la célula se excita ante la presencia de radiación (incremento de temperatura), los electrones fluyen del tipo P al tipo N ocasionando un voltaje interno que ante la presencia de una resistencia se produce corriente¹⁶.

¹⁶ (Díaz & Carmona, 2010) (<https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>)

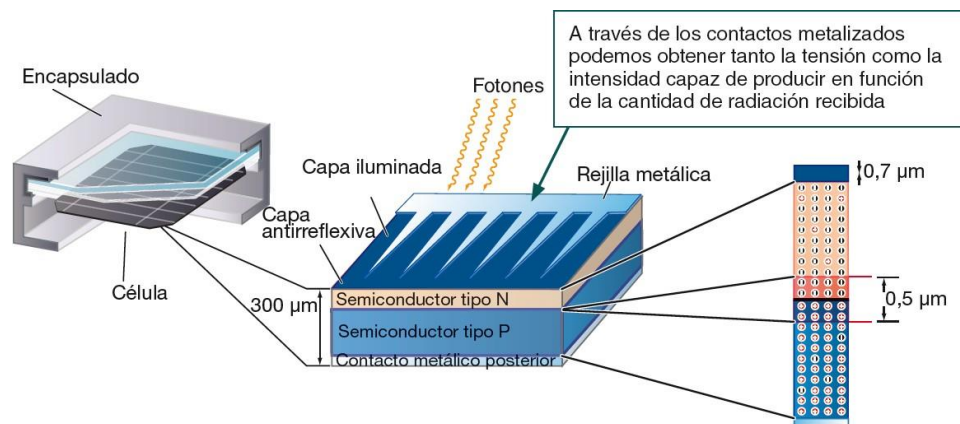

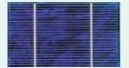



Figura 16. Estructura de una célula solar
Fuente: www.mheducation

En la tabla 6 se muestra los tipos de células más comunes en el mercado se actual, cada una de ellas con diferentes propiedades a tomar en cuenta en su selección.

Tabla 6. Tipos de los paneles según la tecnología de fabricación de sus células.

Células	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
	Monocristalino	24 %	15 - 18 %	Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralski).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	Policristalino	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	Amorfo	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Fuente: www.mheducation

2.1.4. Definición de términos Básicos

2.1.4.1. Deshidratación

Es una operación mediante el cual se elimina la mayor cantidad de agua existente en los alimentos, a través de métodos mecánicos o térmicos. La eliminación del agua puede ser completa o parcial y se busca prevenir al máximo los cambios del alimento para obtener productos con las mismas propiedades nutritivas similares a los verdaderos. Actualmente es un proceso muy usado para prolongar el tiempo de vida de los alimentos, pues la causa de la putrefacción es el agua de su interior.

2.1.4.2. Equipos deshidratadores

La configuración básica de un deshidratador constituye: Una cámara donde se coloca el producto en bandejas, equipado con un ventilador que permite la circulación del aire a través de todas las bandejas que estarán dentro de la cámara de secado, el aire es calentado a la entrada de la cabina mediante una fuente de calor y es recirculado constantemente.

2.1.4.3. Temperatura

Es una magnitud escalar que indica el valor calórico de un cuerpo, por lo que es una de las principales propiedades estudiadas en el campo de la termodinámica.

2.1.4.4. Humedad Relativa

Es el porcentaje de humedad que el aire puede retener. Varía entre 0% a 100%, donde 0% significa que tiene la capacidad total de absorber agua y 100% nos dice que el aire está completamente saturado y por consecuencia no puede absorber agua ya que se alcanzó su máximo contenido de vapor de agua.

2.1.4.5. Control de temperatura

Es el responsable que el agua contenida dentro del producto salga hacia la superficie a través de los tubos capilares que tiene. La variación progresiva por etapas y sin cambios bruscos de este parámetro garantiza el éxito en el proceso y más aún cuando, se usa controles con retroalimentación.

2.1.4.6. Control de humedad relativa

Al contenido de agua en el aire se le conoce como humedad relativa y se define como el porcentaje de saturación del aire con vapor de agua, es decir, es la relación entre la cantidad de vapor de agua que contiene un metro cúbico de aire en condiciones determinadas de temperatura y presión, para medir la humedad relativa del aire se emplea el higrómetro y los diversos tipos de psicrómetros que existen.

2.1.4.7. Automatización

Tecnología relacionada con el uso de sistemas mecánicos eléctricos basados en algoritmos computacionales para la ejecución y control de la producción, por consiguiente, la robótica es una forma de automatización industrial. La automatización permite operar, regular sin intervención del hombre a fin de lograr mantenimiento de la calidad del producto, aumento de la seguridad en el proceso, reducción de costos operativos y mejora de la producción¹⁷.

2.1.4.8. Microcontrolador

Es un circuito integrado usado para gobernar uno o varios procesos, tiene incorporado varios elementos como: un procesador, memoria RAM, Memoria (EPROM/ EEPROM/ROM), generador de impulsos, líneas de I/O y módulos para el control de periféricos (conversión A/D, I2C, PWM, temporizadores, bluetooth, etc.) que lo asemejan a un minicomputador.

¹⁷ (Mayorga & Viveros, 2018)

2.1.4.9. MPLAB

Es un software gratuito de la marca Microchip, usado para programar diversos microcontroladores.

2.1.4.10. Proteus

Proteus es un software para la ejecución de diferentes proyectos electrónicos, sus principales etapas son: diseño del esquema electrónico, simulación del circuito y diseño del circuito impreso. La principal ventaja es la facilidad de uso para el depurado de errores.

2.2. Modelamiento

2.2.1. Materiales

Para realizar el diseño de la máquina deshidratadora de alimentos, en la parte de control se hará uso de sensores de humedad y temperatura, un ventilador, un LCD para la visualización de las variables, un PIC que controlará los anteriores dispositivos y una PC con el software Proteus para las simulaciones previas; en la parte estructural, la mayor parte que tenga contacto con el alimento se usará acero inoxidable para cumplir con las medidas sanitarias, también se usará piezas de polímeros y madera para aprovechar larga duración y buena conductividad térmica, además, de su fácil y económica adquisición.

2.2.2. Métodos

Para la elaboración del modelamiento del sistema propuesto, se ha decidido desarrollar las etapas, usando los siguientes métodos:

- ✓ Diagrama de bloques.
- ✓ Diagrama pictórico.
- ✓ Diagrama de flujo.

- ✓ Algoritmo.
- ✓ Curvas de respuesta.
- ✓ Modelamiento matemático.
- ✓ Modelamiento por parámetros.

2.2.3. Diagrama en Bloques

Para determinar los parámetros de diseño de la máquina deshidratadora se ha considerado establecer como diagrama de bloques genérico el modelo presentado en la figura 17, el cual considera las siguientes etapas:

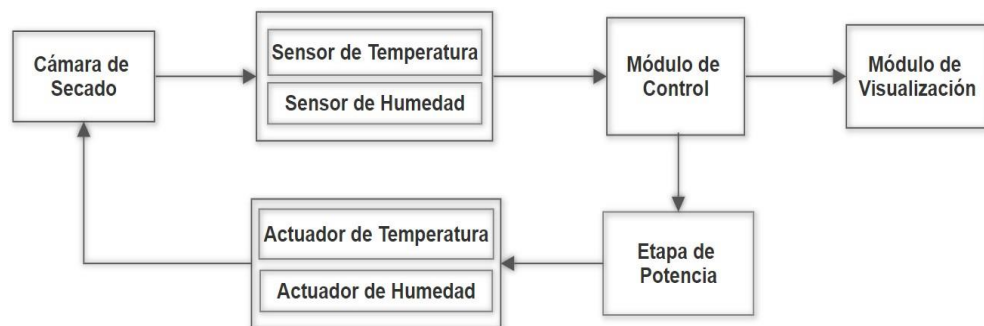


Figura 17. Diagrama en Bloques
Elaborado por: Autor del Proyecto

2.2.4. Diagrama pictórico

Para tener un dibujo más realista, en la figura 18 se realizó un diagrama pictórico que muestra la apariencia física de los elementos mencionados en el diagrama de bloques, con el fin de asimilar mejor el funcionamiento.

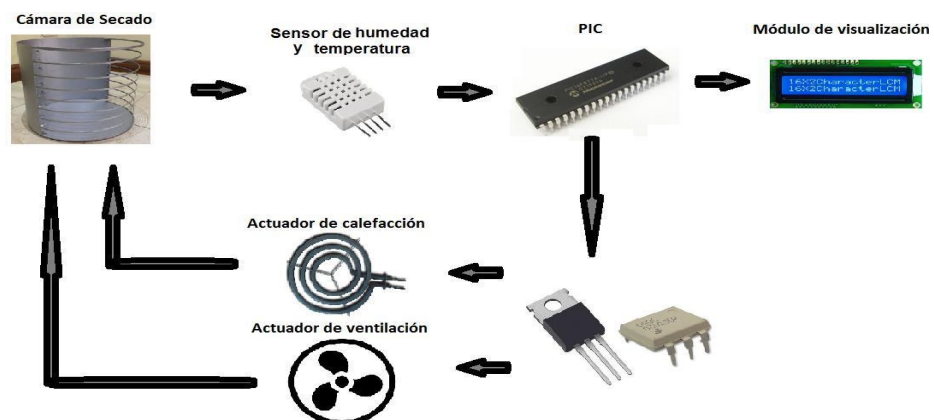


Figura 18. Diagrama pictórico
Elaborado por: Autor del Proyecto

2.2.5. Diagramas de flujo

En la figura 19 se mencionan los procesos que se necesita seguir para cumplir con el objetivo de este proyecto.

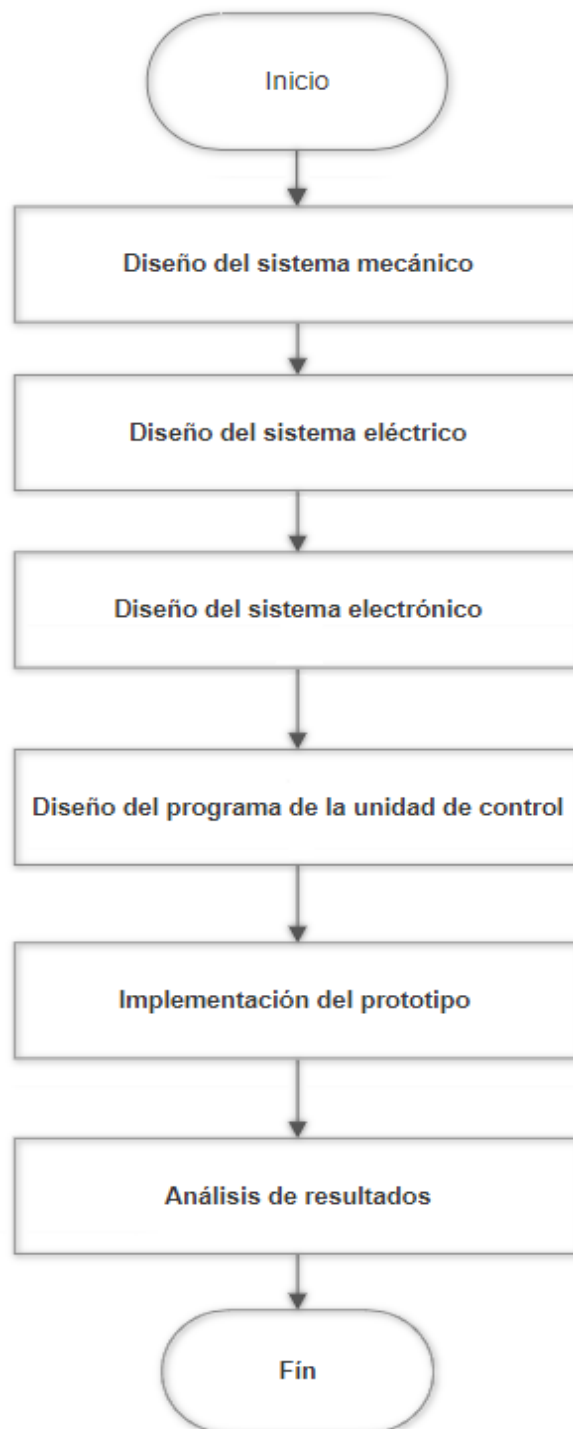


Figura 19. Diagrama de flujo general
Elaborado por: Autor del Proyecto

En la figura 20 se describen los pasos para el funcionamiento del deshidratador tanto fotovoltaico, como eléctrico.

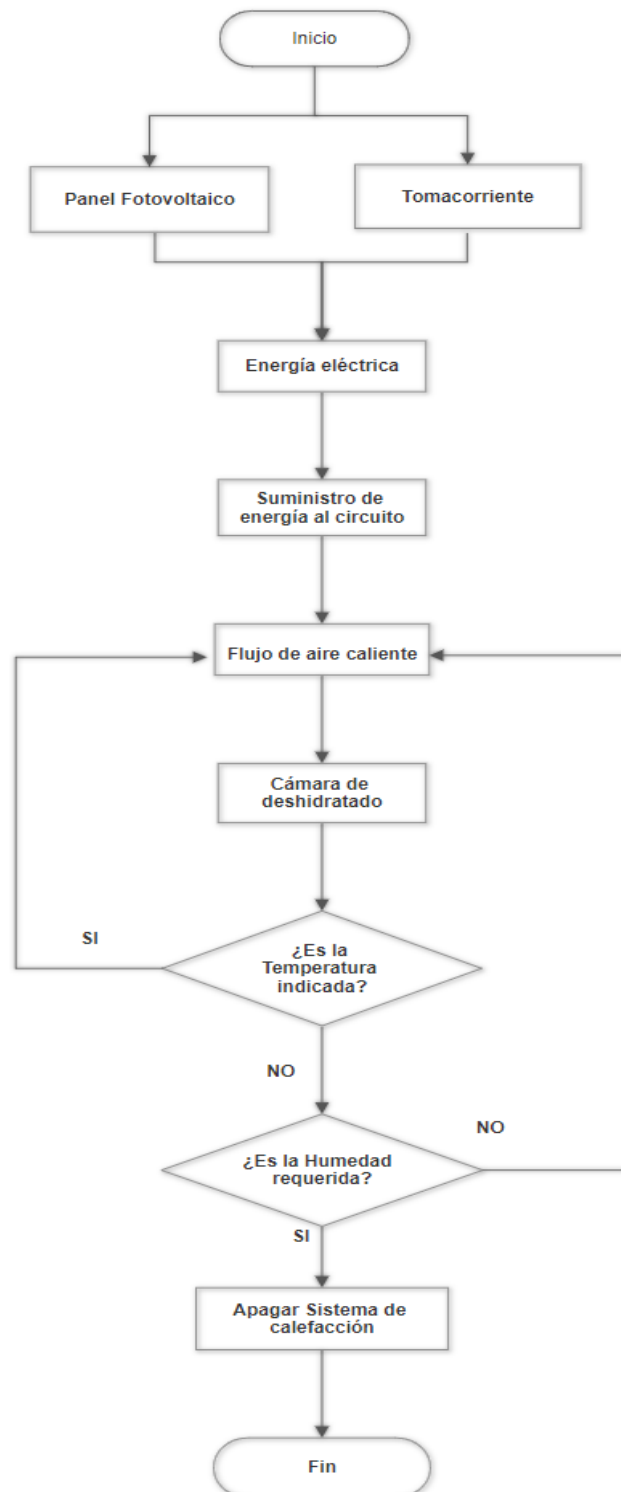


Figura 20. Diagrama de flujo del funcionamiento del deshidratador híbrido
Elaborado por: Autor del Proyecto

2.2.6. Algoritmo

En la figura 21 se observa el algoritmo de solución general para el controlador, tomando en cuenta valores de temperatura y humedad estándar para la mayoría de las frutas.

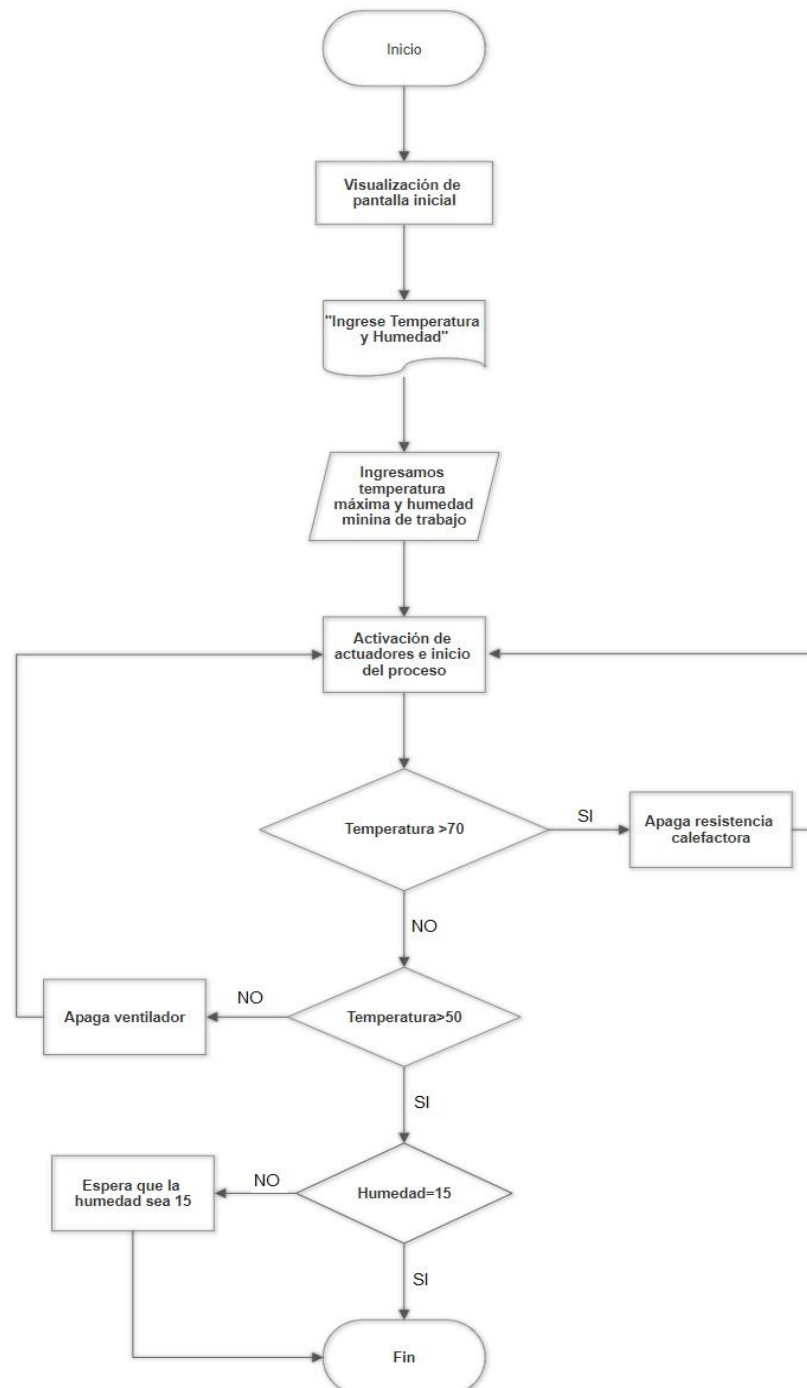


Figura 21. Algoritmo de control
Elaborado por: Autor del Proyecto

2.2.7. Curvas de respuesta

Erika Mayorga¹⁸, comparó datos de temperatura y humedad tomados en el interior de su cámara de secado que se observan en la figura 22 y 23 respectivamente, se logra observar que estas dos variables se comportan de manera inversa; es decir a medida que aumenta la temperatura, el porcentaje de humedad relativa disminuye.

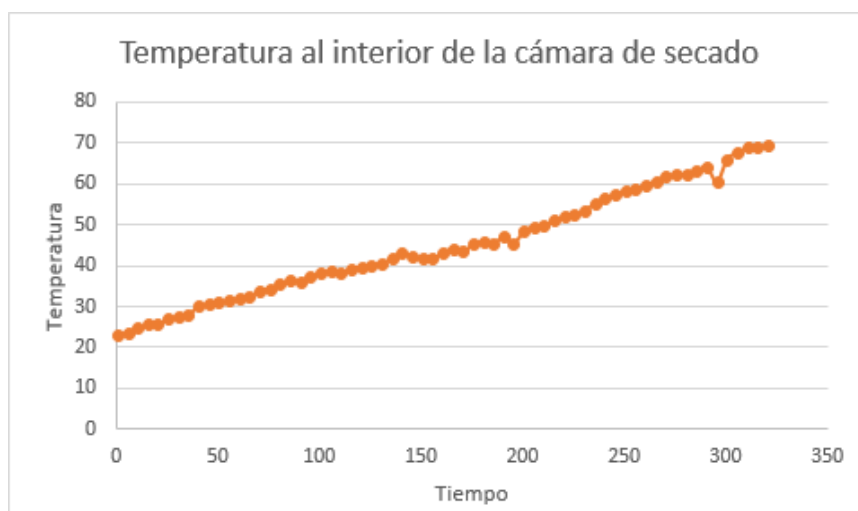


Figura 22. Curva de Temperatura
Fuente: Andrés Viveros y Erika Mayorga

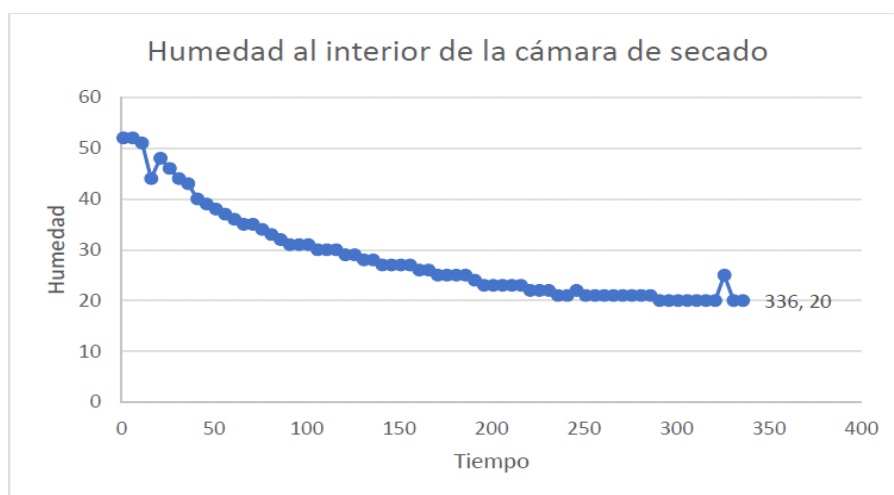


Figura 23. Curva de la humedad
Fuente: Andrés Viveros y Erika Mayorga

¹⁸ (Mayorga & Viveros, 2018)

2.2.8. Modelamiento matemático

2.2.8.1. Transferencia de Calor

La transferencia de calor por convección se da cuando el calor se traslada desde un cuerpo con mayor temperatura a otra de menor temperatura por medio de la interacción de sus moléculas en el fluido. La convección puede ser natural o forzada (ventiladores). Este fenómeno se puede modelar con la ley de enfriamiento de Newton mostrado en la ecuación 1.

$$Q = h * A * (T_M - T_m) \quad (1)$$

Donde:

Q : Flujo de calor transferido por convección.

h : Coeficiente de transferencia de calor por convección.

T_M : Temperatura mayor del sistema.

T_m : Temperatura menor del sistema.

2.2.8.2. Dimensionamiento de la fuente de calor

Primero se debe saber la masa que se desea secar y la densidad a temperatura ambiente, luego con la ecuación 2 se estima su volumen.

$$m_T = \delta * V \quad (2)$$

Donde:

m_T : Masa total del producto.

δ : Densidad del producto.

V : Volumen del producto.

Con la masa total del alimento fresco obtenida, con la ecuación 3 se halla la masa de agua que debe evaporarse.

$$m_e = m_T * (H_i - H_f) \quad (3)$$

Donde:

m_e : Masa de agua presente en el producto que se debe evaporar.

m_T : Masa total del producto.

H_i : Fracción de agua en el producto fresco.

H_f : Fracción de agua que debe tener el producto deshidratado.

Para evaporar el agua excedente es primordial hallar las dos componentes de calor: calor sensible y calor latente.

El calor sensible se calcula con la ecuación 4:

$$Q_s = m_e * C_p * (T_d - T_a) \quad (4)$$

Donde:

C_p : Calor específico del agua.

T_d : Temperatura a la cual debe incurrir la deshidratación.

T_a : Temperatura ambiente.

El calor latente se calcula con la ecuación 5:

$$Q_l = m_e * (h_v - h_{liq}) \quad (5)$$

Donde:

h_v : Entalpía del agua en estado de vapor a una temperatura determinada.

h_{liq} : Entalpía del agua en estado líquido a una temperatura determinada.

Conociendo el calor sensible y el calor latente, se puede calcular con la ecuación 6, el calor total que necesita entregar la fuente para deshidratar el producto.

$$Q_{total} = Q_s + Q_l \quad (6)$$

Donde:

Q_{total} : Calor total que debe entregar la fuente.

Para calcular la potencia que necesita entregar la fuente de calor se emplea la ecuación 7, pero se debe tener como dato el tiempo de secado del alimento.

$$P = \frac{Q_{total}}{t} \quad (7)$$

Donde:

t : Tiempo de secado.

2.2.8.3. Inclínación de los paneles solares

Establecer la inclinación de los paneles solares es importante para enriquecer la generación de energía. Este parámetro es muy influenciado por la latitud del sitio donde se implemente [13] y se puede estimar con las ecuaciones 9, 10 y 11.

$$\text{Inclinación verano: } L + 15 \quad (9)$$

$$\text{Inclinación invierno: } L - 20 \quad (10)$$

$$\text{Inclinación óptima: } 3.7 + (L * 0.69) \quad (11)$$

Donde:

L : Latitud.

2.2.8.4. Determinación de la carga

La carga es la potencia en un dispositivo y se determina con la ecuación 12, teniendo como datos el voltaje y amperaje que opera el dispositivo.

$$W_{dispositivos} = V_{dispositivos} * A_{dispositivos} \quad (12)$$

Donde:

$V_{dispositivos}$: Tensión del dispositivo electrónico.

$A_{dispositivos}$: Corriente del dispositivo electrónico.

Además, se considera el periodo de alimentación o las horas de uso al día para obtener el consumo total, el cual se halla con la ecuación 13.

$$Q_{td} = \frac{W_{dispositivos} * \mathcal{L}_{diario}}{F_{conversión} * V_{sistema}} \quad (13)$$

Donde:

Q_{td} : Consumo total diario.

\mathcal{L}_{diario} : Cantidad de horas utilizado en un día.

$F_{conversión}$: Factor de conversión DC/AC.

$V_{sistema}$: Voltaje del sistema.

Luego se calcula el consumo corregido con la ecuación 14, basándose en factores de rendimiento de cableado y batería usuales en mercado.

$$Q_{td_{corregido}} = \frac{Q_{td}}{F_{cableado} * F_{bateria}} \quad (14)$$

Donde:

$F_{cableado}$: Factor de rendimiento debido al cableado.

$F_{bateria}$: Factor de rendimiento debido a las baterías.

2.2.8.5. Determinación de la batería

Para dimensionar el banco de baterías ¹⁹, primero se determina la capacidad necesaria del banco con la ecuación 15.

$$C_{banco} = \frac{Q_{td_{corregido}} * DOA * F_{seguridad}}{PD_{m\acute{a}x} * F_{temp}} \quad (15)$$

Donde:

DOA : Los días de autonomía.

$PD_{m\acute{a}x}$: Profundidad máxima de descarga.

$F_{seguridad}$: Factor de seguridad.

¹⁹ (Valdiviezo, 2014)

F_{temp} : Factor de temperatura.

El número de baterías para satisfacer la capacidad de banco se halla con las ecuaciones 16 y 17.

$$N^{\circ}_{bp} = \frac{C_{banco}}{C_{bateria}} \quad (16)$$

$$N^{\circ}_{bs} = \frac{V_{sistema}}{V_{bateria}} \quad (17)$$

Donde:

N°_{bp} : Número de baterías en paralelo.

N°_{bs} : Número de baterías en serie.

$C_{bateria}$: Capacidad de la batería.

$V_{bateria}$: Voltaje de operación nominal de la batería.

Por lo tanto, el número de baterías en paralelo nos da el nuevo valor de la capacidad del banco aplicando la ecuación 18.

$$C_{banco} = N^{\circ}_{bp} * C_{bateria} \quad (18)$$

Para cuidar y evitar su rápida degradación de las baterías se usa la ecuación 19.

$$PD = \frac{Q_{td\text{corregido}} * 0.5}{C_{banco}} < 20\% \quad (19)$$

Donde:

PD : Profundidad de descarga real de la batería.

Ya que no se puede descargar la batería por completo, se necesita determinar la capacidad útil de la batería, se usa la ecuación 20.

$$C_{\text{útil}} = C_{banco} * (1 - PD_{\text{máx}}) \quad (20)$$

Donde:

$C_{\text{útil}}$: Capacidad útil de la batería.

2.2.8.6. Dimensionamiento de paneles

Se debe tener en cuenta que los encargados de dar potencia a los dispositivos son los paneles y las baterías, por ello con la ecuación 21 se determina la intensidad de las baterías.

$$I_{batería} = \frac{L_{útil}}{H.S.P * F_d} \quad (21)$$

Donde:

$H.S.P$: Horas sol pico en un mes específico.

F_d : Factor de diseño recomendado.

Ahora se resta para estimar la intensidad de los paneles reemplazando en la ecuación 22.

$$I_{panel} = I_{mes} - I_{batería} \quad (22)$$

Donde:

I_{mes} : corriente de diseño para un mes (usualmente el más crítico).

Luego se debe utilizar el factor de diseño para paneles con células policristalinas determinada con la ecuación 23:

$$I_{panelp} = \frac{I_{panel}}{F_{dp}} \quad (23)$$

Donde:

I_{panelp} : Corriente requerida por el panel fotovoltaico con paneles policristalinos.

F_{dp} : Factor de diseño recomendado para paneles policristalinos.

Finalmente, con las ecuaciones 24 y 25 se calcula el número de paneles.

$$N^{\circ}_{pp} = \frac{I_{panelp}}{I_{mp}} \quad (24)$$

$$N^{\circ}_{ps} = \frac{V_{sistema}}{V_{mp}} \quad (25)$$

Donde:

N_{pp} : Número de paneles en paralelo.

N_{ps} : Número de paneles en serie.

I_{mp} : Corriente máximo pico (dato que brinda el panel solar).

V_{mp} : Voltaje máximo pico (dato que brinda el panel solar).

2.2.8.7. Dimensionamiento de inversor

El objetivo del inversor es transformar la corriente DC a AC aplicando la ecuación 26, para ello se debe conocer la potencia mínima que vamos a convertir.

$$N_{\text{inversores}} = \frac{W_{\text{dispositivo AC}}}{W_{\text{nominal inversor}}} \quad (26)$$

Donde:

$W_{\text{dispositivo AC}}$: Potencia máxima de los dispositivos en corriente alterna.

$W_{\text{nominal inversor}}$: Potencia nominal del inversor elegido.

2.2.8.8. Esquema básico de control PID

El control PID combina 3 acciones: Proporcional (P), Integral (I) y Derivativo (D), como se muestra en la figura 24.

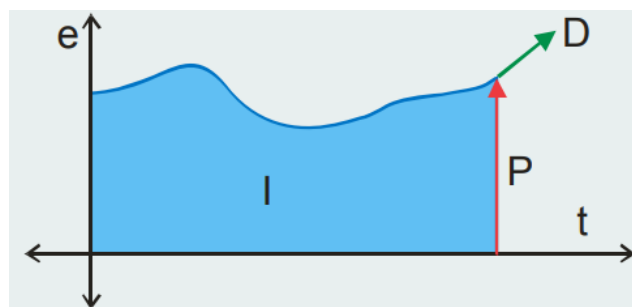


Figura 24. Esquema básico de control PID
Fuente: Teoría de control

2.2.8.9. Ecuación del controlador PID

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (27)$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} \quad (28)$$

$$K_d = K_p T_d \quad (29)$$

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (30)$$

2.2.9. Modelamiento por parámetros

Se identificaron diversos parámetros mostrados en la tabla 7, los cuales forman parte del proceso de modelamiento:

Tabla 7. Tabla de parámetros

Parámetros	Abreviación	Unidad
Transferencia de Calor		
Flujo de calor transferido por convección	Q	W
Coeficiente de transferencia de calor por convección	h	$\frac{W}{^\circ K * m^2}$
Temperatura mayor del sistema	T_M	$^\circ K$
Temperatura menor del sistema	T_m	$^\circ K$
Dimensionamiento de la fuente de calor		
Masa total del producto	m_T	Kg
Densidad del producto	δ	$\frac{m^3}{Kg}$
Volumen del producto	V	m^3
Masa de agua presente en el producto que debe evaporarse	m_e	Kg
Fracción de agua en el producto fresco	H_i	—
Fracción de agua que debe tener el producto deshidratado	H_f	—
Calor sensible	Q_s	J
Calor específico del agua	C_p	$\frac{J}{Kg * ^\circ K}$
Temperatura a la cual debe incurrir la deshidratación	T_d	$^\circ K$
Temperatura ambiente	T_a	$^\circ K$
Calor latente	Q_l	KJ

Entalpía del agua en estado de vapor a una determinada temperatura	h_v	$\frac{KJ}{Kg}$
Entalpía del agua en estado de líquido a una determinada temperatura	h_{liq}	$\frac{KJ}{Kg}$
Calor total que debe entregar la fuente	Q_{total}	MJ
Potencia requerida por la fuente de calor	P	W
Tiempo de secado	t	s
Inclinación de los paneles solares		
Inclinación verano	$L + 15$	$[^\circ]$
Inclinación invierno	$L - 20$	$[^\circ]$
Inclinación óptima	$3.7 + (L * 0.69)$	$[^\circ]$
Determinación de la carga		
Potencia de trabajo de un dispositivo	$W_{dispositivo}$	W
Tensión del dispositivo electrónico	$V_{dispositivo}$	V
Corriente del dispositivo electrónico	$A_{dispositivo}$	I
Consumo total diario	Q_{td}	$\frac{Ah}{día}$
Cantidad de horas utilizado en un día	C_{diario}	$\frac{h}{día}$
Factor de conversión DC/AC	$F_{conversión}$	—
Voltaje del sistema	$V_{sistema}$	V
Consumo total diario corregido	$Q_{tdcorregido}$	$\frac{Ah}{día}$
Factor de rendimiento debido al cableado	$F_{cableado}$	—
Factor de rendimiento debido a las baterías	$F_{bateria}$	—
Determinación de la batería		
Capacidad necesaria del banco	C_{banco}	Ah
Días de autonomía	DOA	-
Factor de seguridad	$F_{seguridad}$	—
Profundidad máxima de descarga	$PD_{máx}$	%
Factor de temperatura	F_{temp}	—
Número de baterías en paralelo	N°_{bp}	—
Número de baterías en serie	N°_{bs}	—
Capacidad de la batería	$C_{bateria}$	Ah

Voltaje de operación nominal de la batería	$V_{bateria}$	V
Profundidad de descarga real de la batería	PD	%
Capacidad útil de la batería	$C_{\acute{u}til}$	Ah
Dimensionamiento de paneles		
Intensidad proveniente de las baterías	$I_{bateria}$	A
Horas sol pico en un mes específico	$H. S. P$	h
Factor de diseño recomendado	F_d	—
Intensidad requerida por el generador fotovoltaico	I_{panel}	A
Corriente de diseño para un mes	I_{mes}	A
Corriente requerida por el panel fotovoltaico con paneles policristalinos	I_{panelp}	A
Factor de diseño recomendado para paneles policristalinos	F_{dp}	—
Número de paneles en paralelo	N°_{pp}	—
Número de paneles en serie	N°_{ps}	—
Corriente máximo pico	I_{mp}	A
Voltaje máximo pico	V_{mp}	V
Dimensionamiento del inversor		
Cantidad de inversores	$N^{\circ}_{inversores}$	—
Potencia máxima de los dispositivos en corriente alterna	$W_{dispositivoAC}$	W
Potencia nominal del inversor elegido	$W_{nominal\ inversor}$	W
Control PID		
Controlador proporcional	K_p	—
Controlador integrativo	K_i	—
Controlador derivativo	K_d	—
Variable de control	$u(t)$	$^{\circ}C$

Elaborado por: Autor del Proyecto

CAPÍTULO 3

DISEÑO

3.1. Diseño del sistema mecánico

3.1.1. Condiciones Iniciales

Como se ha indicado, este proyecto busca ser lo más compacto y eficiente posible para que sea almacenado en cualquier cocina y con una capacidad de al menos 10kg por proceso como se muestra en la figura 25. Para la estructura se consideraron los mecanismos de transferencia de calor a la que estará constantemente sometido, con el fin tener una máquina con un prolongado tiempo de producción y amplia vida útil.

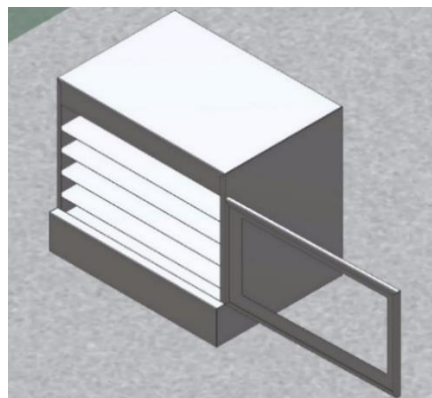


Figura 25. Estructura común de un horno deshidratador
Elaborado por: Autor del proyecto

3.1.2. Funcionamiento y operación

3.1.2.1. Dimensionamiento de la fuente de calor

Se requiere conocer la máxima cantidad de agua que será evaporada o removida del producto.

$$m_a = m_T * (H_n - H_s)$$

La capacidad máxima de la cámara de secado será de 10 kg. Asumiendo una humedad máxima para el ajo de 70% (valor crítico) y luego del proceso debe tener como mínimo 10% de humedad. Entonces se reemplaza los datos:

$$m_a = 10 * (0.70 - 0.10)$$

$$m_a = 6 \text{ Kg}$$

La masa del producto luego del proceso de deshidratación se resta del total.

$$m_{pd} = m_T - m_a$$

$$m_{pd} = 10 - 6 = 4 \text{ kg}$$

Ahora se debe obtener el valor del calor sensible que indica la cantidad de calor requerida para cada kg de masa al elevar la temperatura en 1°C.

$$Q_s = m_a * C_p * (T_s - T_a)$$

La masa de agua que debe removerse es 6kg. El calor específico del agua²⁰ es $4180 \frac{\text{J}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}$. La temperatura de secado del ajo es de 65°C²¹. La

temperatura ambiente de la ciudad de Trujillo²² es 18°C.

$$Q_s = 6 * 4180 * (65 - 18)$$

$$Q_s = 1.179 \text{ MJ}$$

Luego se debe obtener el valor del calor sensible que indica la cantidad de calor requerida para que un cuerpo cambie de fase.

²⁰ Ir al siguiente enlace: (<https://slideplayer.es/slide/2600816/>)

²¹ Ir al siguiente enlace: (<https://slideplayer.es/slide/2600816/>)

²² Ir al siguiente enlace: (<https://www.accuweather.com>)

$$Q_l = m_a * (h_v - h_{liq})$$

La masa de agua que debe removerse es 6 kg y con temperatura de secado del ajo es de 65°C. Los valores de entalpia en estado vapor y estado líquido del agua son de 2617,51 $\frac{KJ}{Kg}$ y 272,079 $\frac{KJ}{Kg}$ respectivamente²³.

$$Q_l = 6 * (2617,51 - 272,079)$$

$$Q_l = 0.014 MJ$$

Entonces el calor total que necesita entregar la fuente para deshidratar el producto se calcula de la siguiente manera:

$$Q_{total} = Q_s + Q_l$$

$$Q_{total} = 589 KJ + 7.04 KJ$$

$$Q_{total} = 1.179 + 0.014 = 1.193 MJ$$

Para hallar la potencia requerida por la fuente de calor, se asume un tiempo máximo de 4h ya que se va a optimizar con un control PDI que nos permite mantener una temperatura de 65°C constante, por lo que el tiempo de secado se reduce notablemente.

$$P = \frac{Q}{t}$$

$$P = \frac{1.193 MJ}{4 * 3600} = 82.9 W$$

3.1.2.2. Dimensionamiento de la cámara de deshidratado

Primero se debe conocer el volumen que se desea secar:

$$m_T = \delta * V$$

Partiendo de una masa total de 10 kg con un máximo de 2Kg por bandeja y una densidad del ajo a 20°C de 890 kg/m³ .

²³ Ir al siguiente enlace: (<https://www.tlv.com/global/LA/calculator/steam-table-temperature.html>)

$$m_T = \delta * V$$

$$10Kg = 890 Kg/m^3 * V$$

$$V = 0.0112 m^3$$

En el dimensionamiento de las bandejas se consideró medidas estándar existentes en el mercado. Las cuales se puede observar en la figura 26:

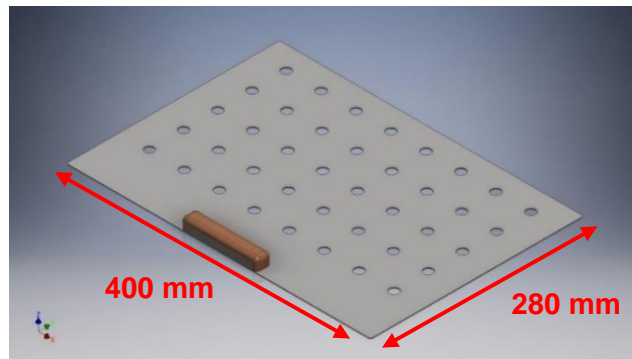


Figura 26. Dimensiones de una bandeja
Elaborado por: Autor del Proyecto

$$L_{bandeja} = 280 mm$$

$$A_{bandeja} = 400 mm$$

$$H_{bandeja} = 20 mm$$

$$Vol_{bandeja} = 2.24 * 10^{-3} m^3$$

Cálculo de las bandejas necesarias para la producción diaria de los vegetales o frutas que se someterán al proceso de deshidratado:

$$N^{\circ} bandejas = \frac{Volumen_{máx}}{Vol_{bandeja}}$$

$$N^{\circ} bandejas = \frac{0.0112 m^3}{2.24 * 10^{-3} m^3}$$

$$N^{\circ} bandejas = 5 bandejas$$

Cómo se decidió no usar ventiladores, es conveniente emplear las 5 bandejas en una sola columna, como se muestra en la figura 27, de esta forma evitaremos las posibles pérdidas de calor.

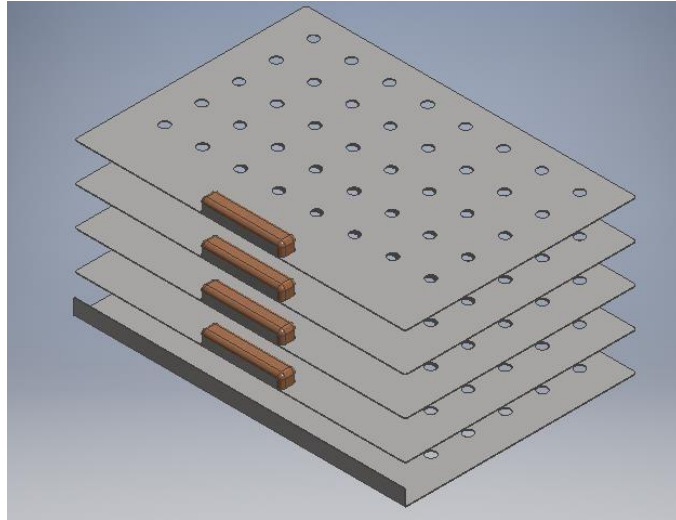


Figura 27. Distribución de bandejas
Elaborado por: Autor del Proyecto

Las dimensiones de la cámara de deshidratado se fundamentan en las medidas, distribución y separación de las bandejas.

$$Ancho_{cámara} = A_{bandeja}$$

$$Ancho_{cámara} = 400\text{ mm}$$

$$Altura_{cámara} = (5 * H_{bandeja}) + (4 * 40\text{ mm}) + 50\text{ mm} + 40\text{ mm}$$

$$Altura_{cámara} = 350\text{ mm}$$

$$Profundidad_{cámara} = (L_{bandeja}) + 20\text{ mm}$$

$$Profundidad_{cámara} = 300\text{ mm}$$

Los parámetros calculados y las dimensiones obtenidas del deshidratador propuesto en este proyecto se muestran en la tabla 8 y sus respectivos planos se puede observar en el ANEXO 5.

Tabla 8. Valores de los parámetros mecánicos

Parámetros	Abreviación	Valor
Masa total del producto	m_T	10 Kg
Masa de agua presente en el producto que debe evaporarse	m_a	6 Kg
Densidad del producto	δ	890 Kg/m ³

Fracción de agua en el producto fresco	H_n	0.70
Fracción de agua que debe tener el producto deshidratado	H_s	0.10
Masa del producto deshidratado	m_{pd}	4 Kg
Calor sensible	Q_s	1.179MJ
Calor específico del agua	C_p	$4180 \frac{J}{Kg * ^\circ K}$
Temperatura a la cual debe incurrir la deshidratación	T_s	65°C
Temperatura ambiente	T_a	18°C
Calor sensible	Q_s	1.179MJ
Calor latente	Q_l	0.014 MJ
Entalpía del agua en estado de vapor a una determinada temperatura	h_v	$2608.85 \frac{KJ}{Kg}$
Entalpía del agua en estado de líquido a una determinada temperatura	h_{liq}	$251.154 \frac{KJ}{Kg}$
Calor total que debe entregar la fuente	Q_{total}	1.193 MJ
Potencia requerida por la fuente de calor	P	82.9 W
Tiempo de secado	t	4h
Largo de la bandeja	$L_{bandeja}$	280 mm
Ancho de la bandeja	$A_{bandeja}$	400 mm
Altura de la bandeja	$H_{bandeja}$	20 mm
Cantidad de bandejas	$N^\circ \text{ bandejas}$	5
Ancho de la cámara de deshidratado	$Ancho_{cámara}$	400 mm
Altura de la cámara de deshidratado	$Altura_{cámara}$	350 mm
Profundidad de la cámara de deshidratado	$Profundidad_{cámara}$	300 mm

Elaborado por: Autor del proyecto

3.1.3. Selección de dispositivos

3.1.3.1. Selección del material de fabricación

Debido a que se va a trabajar con alimentos pelados que pueden reaccionar con metales con propiedades dañinas para el humano, la máquina deshidratadora será fabricada de acero inoxidable, por lo que la soldadura más recomendada sería TIG por fusión sin necesidad de aplicar material de aporte. La soldadura TIG es usada para soldar acero inoxidable, en donde el arco eléctrico se produce entre el metal y un electrodo de Tungsteno el cual no es consumible, al no usar material de aporte se estaría realizando una soldadura por fusión, donde se calientan los materiales a unir hasta que el material se encuentre en estado líquido y puedan unirse como se ve en la figura 28. Esta soldadura es muy limpia y de muy buena calidad, no deja escorias que limpiar mientras se realiza el proceso de soldadura y cabe mencionar que esta soldadura es recomendada solo para materiales que no superen un espesor de 7mm debido a que se puede hacer muy costosa su realización.

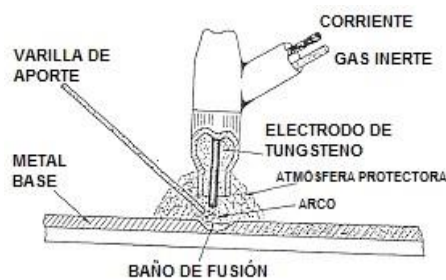


Figura 28. Soldadura TIG
Fuente: GNC Calderería

3.1.3.2. Selección del Vidrio

Para seleccionar el vidrio o cristal que se va a emplear, se realiza una comparación entre los dos tipos que existen en el mercado como se muestra en la tabla 9 en el cual se considera sus características más importantes.

Tabla 9.Comparación entre cristal común y cristal templado

CARACTERÍSTICAS	CRISTAL COMÚN	CRISTAL TEMPLADO
DENSIDAD	APROXIMADO DE 2.5 G./CM ³ .	APROXIMADO DE 2.5 G./CM ³ .
FRACTURA	EN GRANDES FRAGMENTOS CON PUNTAS AGUDAS MUY PELIGROSAS DE FORMAS Y DIMENSIONES DIVERSAS	EN PEQUEÑAS PARTICULAS DE ARISTAS REDONDEADAS
RESISTENCIA AL IMPACTO	RESISTE EL IMPACTO DE UNA ESFERA DE ACERO DE 227 G. QUE SE DEJA CAER DESDE UNA ALTURA DE 0.70 M.	RESISTE EL IMPACTO DE UNA ESFERA DE ACERO DE 227 G. QUE SE DEJA CAER DESDE UNA ALTURA DE 3.00 M.
ESFUERZO TERMICO	RESISTE HASTA UN DIFERENCIAL DE TEMP. DE 40°C ENTRE SUS CARAS	RESISTE HASTA UN DIFERENCIAL DE TEMP. DE 250°C ENTRE SUS CARAS
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	RESISTE HASTA 37 KG. DE CARGA CONCENTRADA, CON UNA DEFLEXIÓN DE 11 MM.	RESISTE HASTA 170 KG. DE CARGA CONCENTRADA, CON UNA DEFLEXIÓN DE 69 MM. Y CON CAPACIDAD DE REGRESAR A SU ESTADO ORIGINAL AL RETIRAR LA CARGA
RESISTENCIA A LA FLEXION CON CARGA AL VIENTO	196 KG./ CM ² . POR PRESIÓN DE VIENTO	780 KG./ CM ² . POR PRESIÓN DE VIENTO

PRUEBAS HECHAS CON LAMINAS DE 0.30 X 0.30 M. EN 6 MM. DE ESPESOR

Fuente: Vitrauld

El cristal templado mostrado en la figura 29, es usado como vidrio de seguridad debido al tratamiento térmico al que fue sometido le permite aumentar su resistencia a la flexión y es entonces el principal factor por el que el autor decidió usar vidrio templado con 6 mm de espesor, además de ser capaz de soportar las temperaturas generadas por la maquina deshidratadora, lo cual un vidrio normal podría quebrarse por no tener la capacidad de dilatarse.

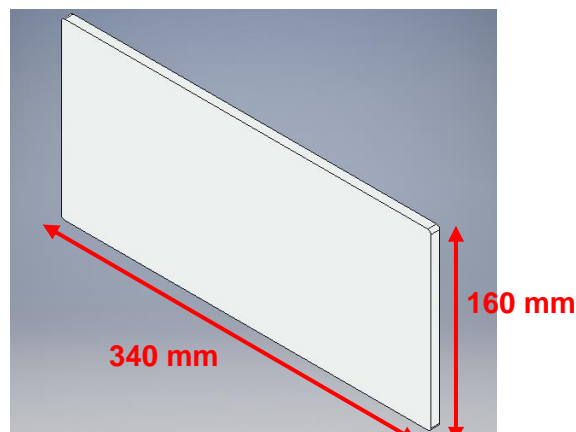


Figura 29.Representación del modelo 3D del vidrio templado.
Elaborado por: Autor del proyecto

3.2. Diseño de la unidad de control

3.2.1. Condiciones Iniciales

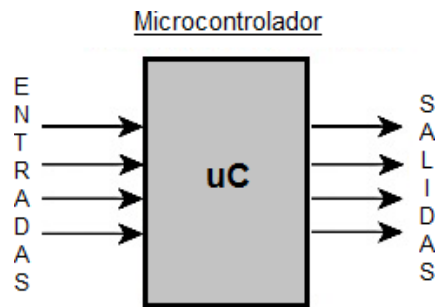


Figura 30. Caja negra de un microcontrolador
Elaborado por: Autor del Proyecto

Se considera como entradas a: 1 sensor de temperatura y humedad, 4 pulsadores (2 para temperatura y 2 para humedad), 1 reset y un switch general de ON/OFF.

Como salida se considera a: 1 pantalla LCD 16x2, 1 salida para la resistencia calefactora AC, 4 leds para iluminación interna y un buzzer.

3.2.2. Funcionamiento y operación

3.2.2.1. Control de retroalimentación

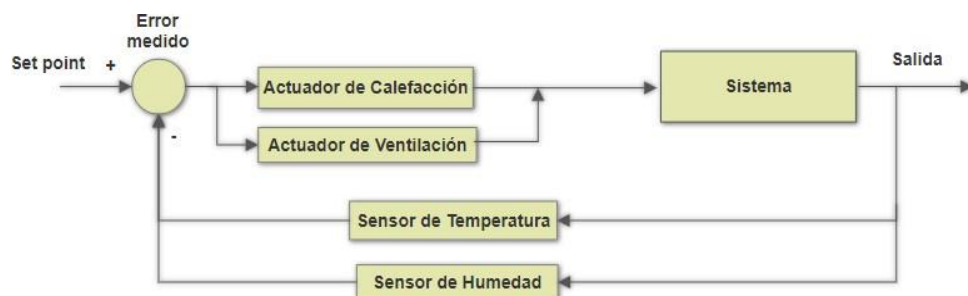


Figura 31. Control con retroalimentación.
Elaborado por: Autor del Proyecto

- **Sistema:** El sistema está representado por la cámara de secado ya que es allí donde se produce la deshidratación de alimentos.
- **Actuadores:** Los actuadores son dispositivos que transforman diferentes tipos de energía para producir algún comportamiento dentro de la cámara de secado, el cual es la resistencia calefactora.
- **Sensores:** Son dispositivos usados para detectar estímulos externos, perciben cambios en las magnitudes físicas y las convierten en

señales eléctricas, con la finalidad de entregarlos al microcontrolador. Los cuales serían el sensor de humedad y temperatura.

3.2.2.2. Control de la Humedad

El control de la humedad relativa se realiza de la siguiente manera:

El flujo de calor se mantendrá activado siempre que el valor que muestra el sensor de humedad en el LCD se encuentre en el rango aceptado. Este valor se define antes de iniciar el proceso de secado y es ligeramente diferente a medida que se varíe los alimentos, en la mayoría de las frutas, la humedad final mínima debe ser de 10% HR. Si el LCD muestra el valor HR mínimo establecido la resistencia calefactora se apagará y activará el buzzer indicando el fin del proceso.

3.2.2.3. Control de la Temperatura

El control de la temperatura se realiza de la siguiente manera:

La temperatura en la cámara de secado debe oscila entre 60°C y 70°C y se define al inicio del proceso, junto con la humedad. Si la temperatura se encuentra en el rango de admitido, se realiza un control proporcional de lazo cerrado, tomando en consideración el error, para esto se desarrollará una variación de corriente (PWM) que pasa en la resistencia calefactora que nos garantiza tener una temperatura constante en todo el proceso de deshidratado.

3.2.3. Selección de dispositivos

3.2.3.1. Selección del microcontrolador PIC

Este dispositivo es un circuito integrado cuya función es que, a partir de una programación simple o compleja, se pueda gobernar uno o varios procesos en un sistema. Las ventajas de usar este dispositivo son:

- Su tamaño y facilidad de uso lo hacen viable para diversos proyectos.
- La programación es sencilla y se realiza con ayuda de una computadora, su grabación por lo general se realiza a través de puertos USB.
- Hay una gran diversidad de lenguajes de programación y softwares para programar un microcontrolador como el MPLAB o el que usará en este proyecto PIC C.
- La ventaja más relevante es el editar o reprogramar con facilidad los parámetros en el sistema de control como lo son la temperatura y humedad.

Se seleccionó el PIC16F877A de gama media mostrado en la figura 32, debido a las diversas características indicadas en la tabla 11, que lo convierte en un dispositivo práctico, versátil y muy eficiente para ser utilizado en este proyecto. Además de ser de una gama media, cuenta con comunicación I2C con el cual trabaja el sensor DHT22.



Figura 32. Aspecto físico del PIC
Fuente: PIC 16f87XA Microchip ANEXO 2

Tabla 10. Principales características del PIC 16F877A

Parámetros	16F877A
Frecuencia máxima	20MHz
Memoria flash del programa	8KB
Memorias de datos (Bytes)	368
Memoria EEPROM (Bytes)	256

Puertos E/S	A, B, C, D y E
Número de pines	40
Interrupciones	14
Timers	3
Módulos CCP	2
Comunicaciones Serie	MSSP, USART
Comunicaciones paralelo	PSP
Arquitectura	Harvard
CPU	RISC
Canales PWM	2

Fuente: PIC 16F877A Microchip

3.2.3.2. Selección del sensor de temperatura y humedad

De acuerdo con el rango de temperatura, rango de humedad y precios, el autor seleccionó el sensor DHT22 que funciona para ambas variables. Este sensor mostrado en la figura 33, nace como una evolución del DHT11, pero con mayores rangos de humedad y de temperatura. Este dispositivo tiene excelentes cualidades que se adaptan con el proyecto propuesto, además de ser muy económico. En la tabla 12 se detallan algunas de sus principales características y en el ANEXO 3 se observa su ficha técnica.

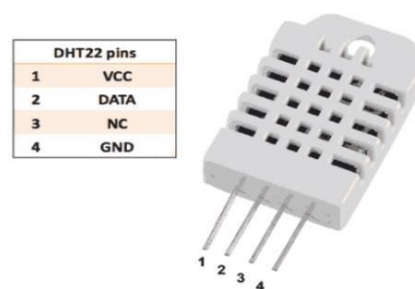


Figura 33. Sensor DHT22
Fuente: Aosong Electronics Co., Ltd.

Tabla 11. Principales características del sensor DHT22

Parámetro	DHT22
Alimentación	$3.3Vdc \leq Vcc \leq 5.5Vdc$
Numero de pines	4

Tiempo de muestreo o sensado	2 segundos
Señal de salida	Digital
Valores de temperatura y humedad	Decimal
Rango de valores de Temperatura	−40 °C hasta 80 °C
Precisión de temperatura	±5%°C hasta ±10%°C
Resolución de temperatura	0.1°C
Rango de valores de Humedad	0% HR hasta 100% HR
Precisión de Humedad	2% HR
Resolución de temperatura	0.1% HR

Fuente: Aosong Electronics Co., Ltd.

3.2.3.3. Pantalla de Cristal Líquido (LCD)

Es un módulo de visualización que nos permite observar los valores de temperatura y humedad en el interior de la cámara de secado. Un LCD 16x2 significa que tiene la capacidad de mostrar 16 caracteres en 2 líneas. En la figura 34 se puede apreciar su aspecto físico.



Figura 34.LCD 16x2
Fuente: Manual de PICs Electrotec.

3.2.3.4. Implementación del circuito de control

Luego de seleccionar y determinar los parámetros que debe cumplir el sistema de control, se implementa el circuito con ayuda del software Proteus

con el fin de verificar que el comportamiento del circuito sea el apropiado.

En la figura 35 se muestra la incorporación de los dispositivos.

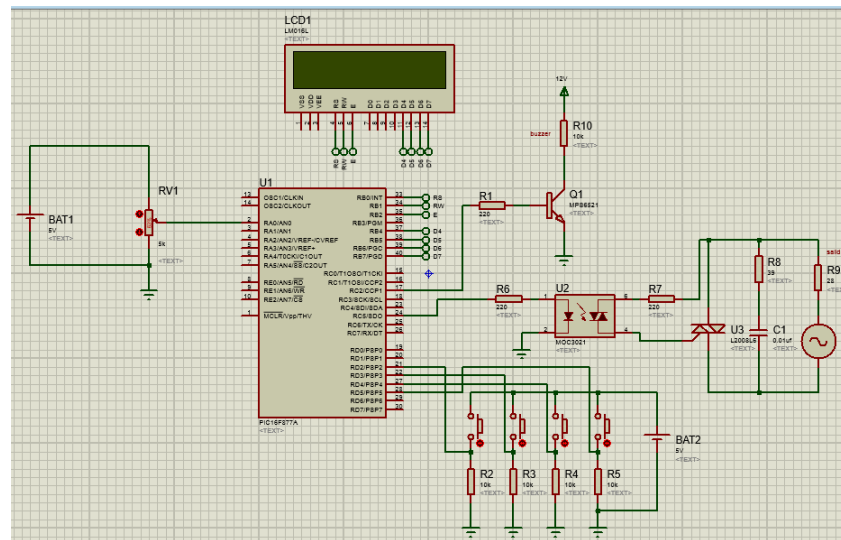


Figura 35. Integración de componentes
Elaborado por: Autor del proyecto

La integración de los componentes consta de un sistema de sensado, un núcleo de procesador, un visualizador de datos y un sistema de actuadores.

Para que el circuito tenga menos errores de cableado y no verse influenciado constantemente por movimientos bruscos, se realizó en un circuito impreso como se aprecia en la figura 36, en donde se señalan sus partes.

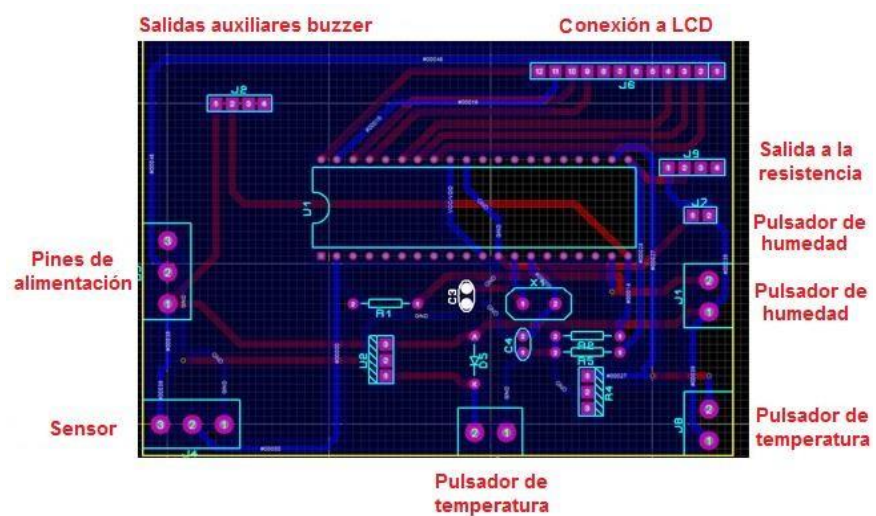


Figura 36. Partes del circuito impreso
Elaborado por: Autor del Proyecto

3.3. Diseño del sistema electrónico

3.3.1. Condiciones Iniciales

El sistema electrónico opera con voltaje DC, pues no es posible solo conectando el circuito al tomacorriente, para ellos se necesita una fuente de alimentación que convierta 220 VAC a 5 VDC. Por otro lado, para evaluar la corriente mínima que debe poseer la fuente se debe considerar todos los componentes electrónicos en DC de que entran y salen al microcontrolador, así como también en componentes en AC el cual trabaja la resistencia calefactora y requieren de dispositivos de potencia y en función a ello, hacer los cálculos respectivos para realizar la selección de los dispositivos.

3.3.2. Funcionamiento y operación

3.3.2.1. Buzzer (Alarma sonora)

El buzzer se usa como alarma sonora indicando la finalización del proceso de deshidratación, para lo cual se requirió realizar los siguientes cálculos para su respectiva alimentación.

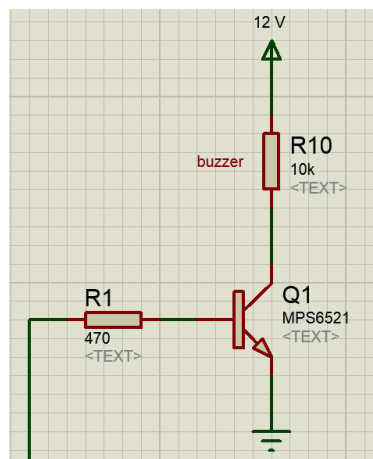


Figura 37. Buzzer
Elaborado por: Autor del proyecto

- Ic: Corriente de consumo de Buzzer.
- b: Factor de ganancia del transistor.

- V_t : Voltaje del transistor.
- V : Voltaje de entrada.
- R : resistencia de base de transistor.

$$I_c = 500 \text{ mA}$$

$$b = 50$$

$$I_b = \frac{500 \text{ mA}}{50} = 10 \text{ mA}$$

$$V = 5 \text{ Voltios} ; V_t = 0.7 \text{ Voltios}$$

$$R = \frac{V - V_t}{I_b} = \frac{5 - 0.7}{10} = 430 \Omega$$

Debido a que el resultado equivale a una resistencia no comercial, se decide usar 470Ω .

3.3.2.2. Iluminación interna

Para obtener una mejor visualización durante el proceso, se colocan 4 focos led, para los cuales se realizó el siguiente circuito, y se realizó además el cálculo para hallar las resistencias correctas para su respectiva alimentación.

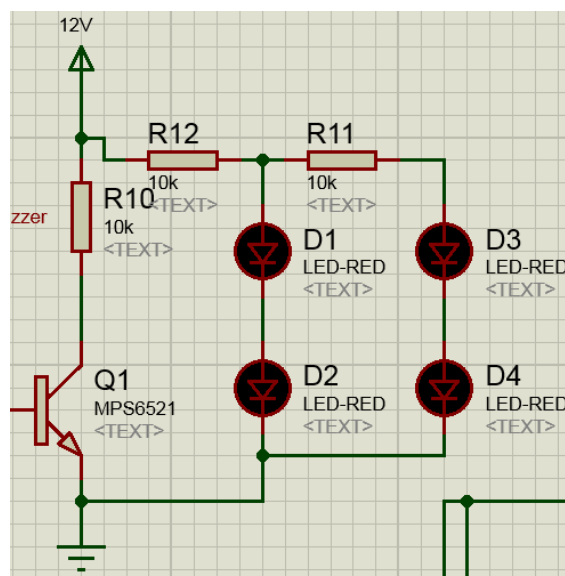


Figura 38. Luces
Elaborado por: Autor del proyecto

- V_f : Voltaje de fuente.
- V_l : Voltaje de leds.
- I_l : Consumo de corriente de leds.
- R_{11} y R_{12} : Resistencias de circuito de alimentación de los leds.

$$V_f = 12 \text{ Voltios}$$

$$V_l = 3.4 \text{ Voltios} ; I_l = 50 \text{ mA}$$

$$R_{11} = R_{12} = \frac{V_f - 2 * V_l}{I_l} = \frac{12 - 6.8}{0.05} = 104 \Omega$$

Debido a que el resultado equivale a una resistencia no comercial, se decide 220 Ω .

3.3.2.3. Circuito de resistencia

Para la resistencia de entrada y de salida

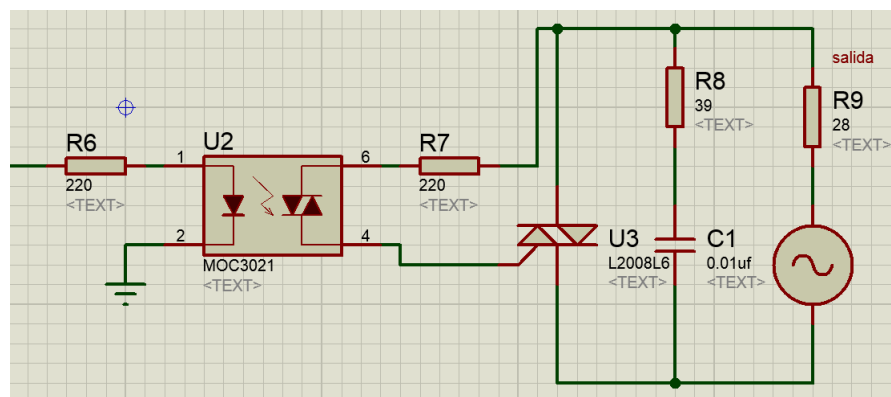


Figura 39. Circuito entrada y salida optodiode
Elaborado por: Autor del proyecto

- R_6 : Resistencia de entrada del optocoplador.
- V_p : Voltaje de salida del PIC.
- V_e : Voltaje del emisor.
- V_{ac} : Corriente alterna.
- V_{diac} : Corriente que circula por el diac.
- $I_{optodiode_{m\acute{a}x}}$: Máxima corriente que soporta el optodiode.
- R_7 : Resistencia de salida del optocoplador.

- T_d : Triac de disparo.
- R_8 , R_9 y Cap : Resistencias y capacitor cerámico de protección.
- R_c : Resistencia calefactora.

$$V_p = 5 \text{ Voltios}$$

$$V_e = 1.7 \text{ Voltios}$$

$$R_6 = \frac{V_p - V_e}{50 \text{ mA}} = \frac{5 - 1.7}{50 \text{ mA}} = 66 \Omega$$

$$V_{ac} = 220 \text{ Voltios}$$

$$V_{diac} = 1.4 \text{ Voltios}$$

$$I_{optodiac_{\max}} = 1.2 \text{ A}$$

$$R_7 = \frac{V_{ac} - V_{diac}}{I_{optodiac_{\max}}} = \frac{220 - 1.4}{1.2} = 182.17 \Omega$$

$$T_d = 1.2 \text{ A Nota corriente max } 20 \text{ A}$$

$$R_c = 1500 \text{ Watts}$$

$$I_{Rc} = \frac{1500 \text{ Watts}}{220 \text{ V}} = 6.82 \text{ A N (Considerar Aprox. } 10 \text{ A)}$$

$$R_8 = R_9 = 39 \text{ Ohm de } 2 \text{ Watts}$$

$$Cap = 0.01 \mu F \text{ a } 250 \text{ Voltios}$$

3.3.2.4. Corte por cero

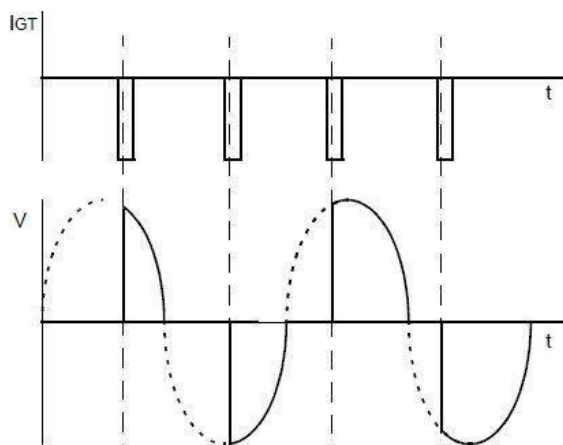


Figura 40. Grafica Cruce por cero
Elaborado por: Autor del proyecto

3.3.3. Selección de dispositivos

3.3.3.1. Selección de la fuente de alimentación

En base a los cálculos realizados los consumos de corriente son los siguientes:

- Sistema de control 400 mA.
- Sensor de temperatura 50 mA.
- Buzzer 400 mA.
- Leds de iluminación 100 mA.

$$\text{Consumo total de corriente} = 400 + 50 + 400 + 100 = 950 \text{ mA}$$

Con respecto al resultado obtenido, se optó por seleccionar una fuente de alimentación desde 220V a 5V 1 A, que se muestra en la figura 41.



Figura 41. Fuente de alimentación seleccionado
Fuente: Centro Comercial Paruro

3.4. Diseño del control PID

3.4.1. Condiciones Iniciales

3.4.1.1. Comportamiento dinámico horno eléctrico

Aplicando MATLAB versión 2014a, se puede graficar el comportamiento de la señal de salida (temperatura) de la planta en lazo abierto en base a una entrada escalón para cualquier valor de la constante de tiempo τ . Se utiliza escalón puesto que, al momento de encender el horno, se aplica potencia constante y lo asemeja a la constante de ingreso.

La función de transferencia obtenida para el horno eléctrico fue:

$$\frac{T(s)}{q(s)} = G(s)_{TP} = \frac{6.04}{\tau s + 1.14}$$

A partir de la ecuación de transferencia, se obtiene el comportamiento dinámico del horno eléctrico indicado en la figura 42, cuando $q(s)$ se asume como una entrada escalón y la constante de tiempo igual a 1 minuto, tiempo aproximado en que el horno alcanza el 65% del valor de su estado permanente.

Las curvas de los datos de campo y del polinomio interpolado se presentan superpuestas. El objetivo es establecer una relación de comparación. La curva de círculos representa la función con datos de campo y la curva continua, la función de interpolación²⁴.

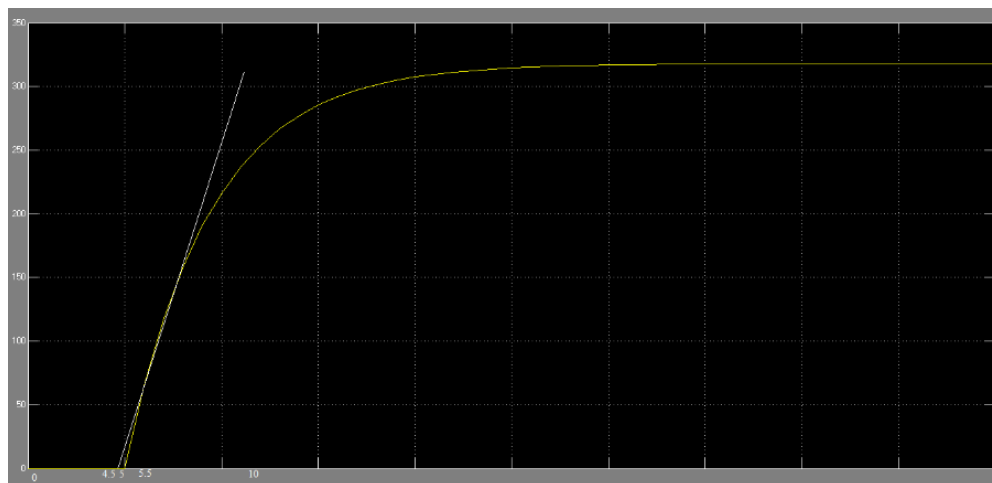


Figura 42. Función de interpolación
Elaborado por: Autor del proyecto

3.4.1.2. Caracterización de la termocupla

Se tomaron los datos de la termocupla instalada en el sistema, elaborando una tabla desde 25°C hasta 320°C, con su respectivo valor de voltaje

²⁴ (Aguirre & Orozco, 2009)

correspondiente. Haciendo una regresión de datos experimentales se obtuvo: $V_{(T)} = -1.4681 + 0.0549T$; cuya grafica es la figura 43.

Realimentación función de transferencia sensor de temperatura.

$$H(s) = \frac{V(s)}{T(s)} = 0.0549$$

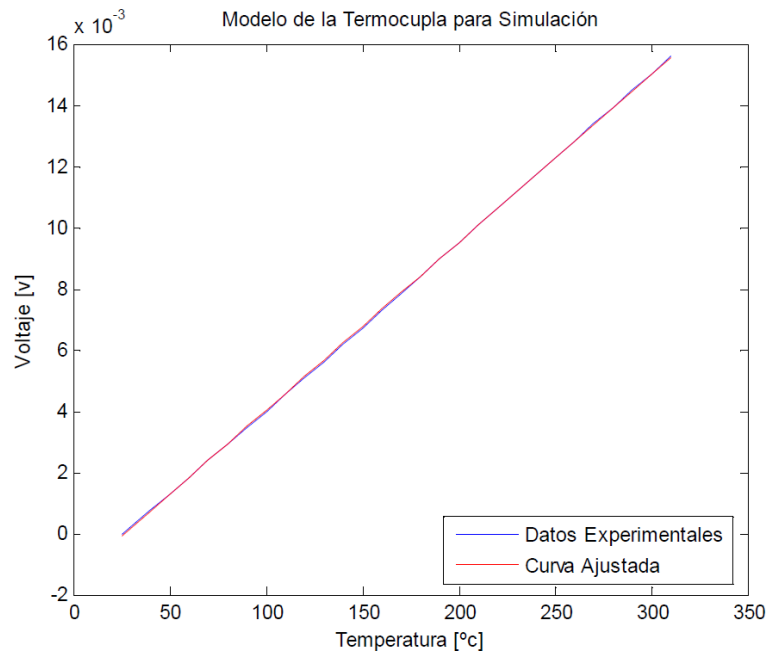


Figura 43. Función de la temperatura
Fuente: Aguirre & Orozco, 2009

Para efectos de simulación se puede eliminar el término negativo: $V_{(T)} = 0.0549T$. Aplicando la transformada de Laplace se obtiene la función de transferencia: $H(s) = \frac{V(s)}{T(s)} = 0.0549$, que sería la función de transferencia de la termocupla.

Ahora, se realiza la implementación de sistema de control agregando el sistema PID y también la planta junto a su realimentación. Los datos utilizados vienen de la gráfica de temperatura (figura 44), 4.5 tiempo inicial de calentamiento, 5.5 tiempo en el cual calienta 320°C y 25°C rango de la temperatura 10.5 tiempo de calentamiento total.

Y_0 : Tiempo final

T_0 : Tiempo inicial de curva

K_0 : Constante de temperatura entre voltaje

$$E(K_t) = \left(\frac{-}{s}\right) * K_p \left(1 + \frac{1}{s} + \frac{s}{(s+1)}\right)$$

$$T_0 = 5.5 - 4.5 = 1 \text{ s}$$

$$Y_0 = 10.5 - 5.5 = 5 \text{ s}$$

$$K_0 = \frac{320 - 25}{2 - 0} = 147.4 \text{ s}$$

Datos de control PID

T_i : Constante integrativa

T_d : Constante derivativa

K_p : Constante proporcional

$$K_p = 1.2 * \frac{V_0}{K_0 * T_0}$$

$$T_i = 2 * T_0$$

$$T_d = 0.5 * T_0$$

$$K_p = 1.7$$

$$T_i = 2$$

$$T_d = 0.5$$

Con los datos obtenidos se reemplazan los valores en Simulink, tal como se muestra en la figura 44, que permite obtener el modelo de la planta y en la figura 45 se grafican su función de transferencia en un osciloscopio.

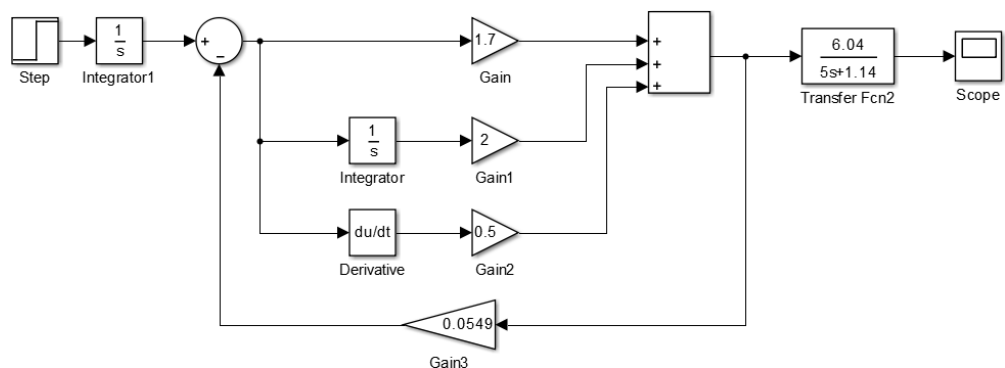


Figura 44. Diagrama de bloques en Simulink
Fuente: Autor del proyecto

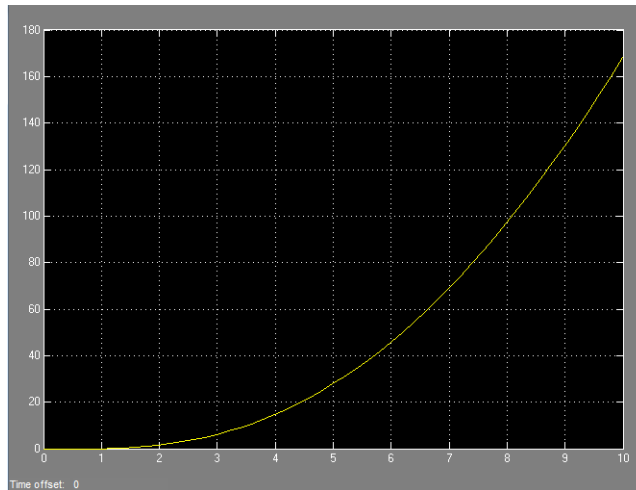


Figura 45. Grafica de la salida en función a la deshidratadora
Fuente: Autor del proyecto

3.5. Diseño del sistema fotovoltaico

3.5.1. Condiciones Iniciales

Se debe tener en cuenta que el prototipo estará situado en Trujillo, ubicada en la costa norte peruana que posee un clima caluroso en los días de verano, y fresco durante la noche por consecuencia de la brisa marina. En la figura 46 se muestra el esquema del mercado donde operará. Se procura que en la ubicación sea un espacio en donde no se encuentre con sombras a su alrededor.



Figura 46. Esquema del mercado “La Hermelinda”
Fuente: Taller integral de Diseño²⁵

²⁵ <https://de.slideshare.net/Andreilescano/propuesta-urbana-del-sector-del-mercado-la-hermelinda/5?smtNoRedir=1>

3.5.2. Funcionamiento y operación

3.5.2.1. Inclínación de los paneles solares

Este parámetro es muy influenciado por la latitud Trujillo que posee 8°S, mientras lima posee 12 °S. En general, cuanto mayor es la latitud, más frío hace, en otras palabras, a mayor latitud obtenemos menos calor²⁶. En la figura 47 se muestra la dirección del ángulo que se toma en cuenta.

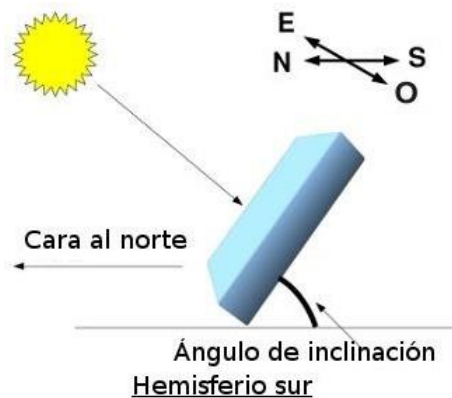


Figura 47. Ángulo de inclinación
Fuente: www.lawebdelasenergiasrenovables.com

$$\text{Inclinación verano: } L + 15 = 23^\circ$$

$$\text{Inclinación invierno: } L - 20 = -5^\circ$$

$$\text{Inclinación óptima: } 3.7 + (L * 0.69) = 9^\circ$$

3.5.2.2. Determinación de la carga

La carga es la potencia en un dispositivo, se considera como 220VAC al voltaje que trabaja la resistencia eléctrica con 6A y los dispositivos en DC lo determina la fuente de alimentación de 5VDC con 1A.

$$W_{\text{dispositivo}} = V_{\text{dispositivo}} * A_{\text{dispositivo}}$$

$$W_{\text{dispositivo}} = 220 \text{ V} * 7 \text{ A} = 1540 \text{ W}$$

²⁶ <http://www.antipodas.net/coordenadaspais/peru/trujillo.php>

Se considera el periodo de alimentación o las horas de uso al día para obtener el consumo total diario, el factor de DC/AC mínimo es de 0.85 y tensión del sistema de 24V que es el más comercial en el mercado.

$$Q_{td} = \frac{W_{dispositivos} * C_{semanal}}{F_{conversión} * V_{sistema}}$$

$$Q_{td} = \frac{1540 W * 5 \frac{h}{día}}{0.85 * 24 V}$$

$$Q_{td} = 377.45 Ah/día$$

Luego se calcula el consumo corregido, en base a factores de rendimiento de cableado no debe ser menor a 0.98 y el factor de rendimiento de la batería no tiene que ser menor a 0.9.

$$Q_{td_{corregido}} = \frac{Q_{td}}{F_{cableado} * F_{bateria}}$$

$$Q_{td_{corregido}} = \frac{377.45 Ah/día}{1.5 * 1.2}$$

$$Q_{td_{corregido}} = 209.7 Ah/día$$

3.5.2.3. Determinación de la batería

Para dimensionar el banco de baterías, primero se determina la capacidad necesaria del banco, los días de autonomía (DOA) recomendable son 3 días y con una profundidad máxima de descarga que es 80% que es el porcentaje mínimo que se puede tomar para no sub-dimensionar la profundidad de descarga mostrado en la figura 48. El factor de temperatura es de 0.9 y el factor de seguridad puede ser entre 1.5 y 2.

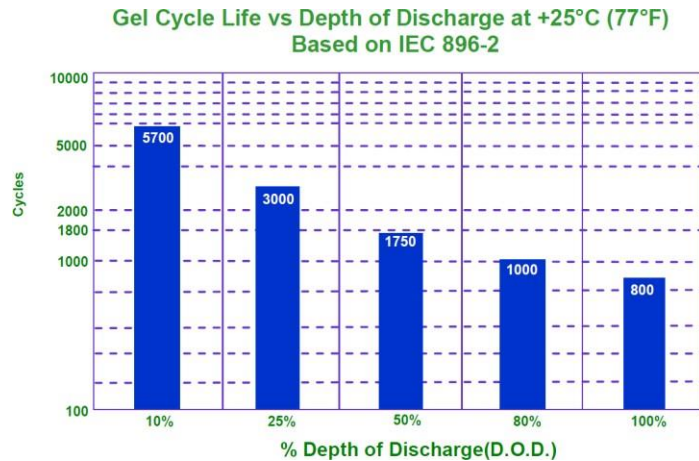


Figura 48. Gráfica de ciclos de vida vs profundidad de descarga.
Fuente: Global Energy Solar SAC.

$$C_{\text{banco}} = \frac{Q_{td\text{corregido}} * DOA * F_{\text{seguridad}}}{PD_{\text{máx}} * F_{\text{temp}}}$$

$$C_{\text{banco}} = \frac{209.7 * 3 * 1.5}{0.80 * 0.9} = 1310.62 \text{ Ah}$$

El número de baterías para satisfacer la capacidad de banco con una capacidad de batería de 250 Ah y con un voltaje nominal de 12V, se halla del siguiente modo.

$$N^{\circ}_{bp} = \frac{C_{\text{banco}}}{C_{\text{bateria}}} = \frac{1310.62}{250} = 5$$

$$N^{\circ}_{bs} = \frac{V_{\text{sistema}}}{V_{\text{bateria}}} = \frac{24}{12} = 2$$

Por lo tanto, el número de baterías en paralelo nos da el nuevo valor de la capacidad del banco.

$$C_{\text{banco}} = N^{\circ}_{bp} * C_{\text{bateria}}$$

$$C_{\text{banco}} = 5 * 250 = 1250 \text{ Ah}$$

Para cuidar y evitar su rápida degradación de las baterías hallamos la profundidad de descarga real de la batería del siguiente modo:

$$PD = \frac{Q_{td\text{corregido}} * 0.75}{C_{\text{banco}}} < 20\%$$

$$PD = \frac{209.7 * 0.75}{1250} < 20\%, \quad PD = 12.58\%$$

Esto quiere decir que, colocando 5 baterías conectadas en paralelo, se obtiene una profundidad de descarga real de 12.58 % el cual está en el rango permitido.

Ya que no se puede descargar la batería por completo, se necesita determinar la capacidad útil de la batería.

$$C_{\text{útil}} = C_{\text{banco}} * (1 - PD_{\text{máx}})$$

$$C_{\text{útil}} = 1250 * (1 - 0.12580) = 1092.75Ah$$

3.5.2.4. Dimensionamiento de paneles

Se debe tener en cuenta que los encargados de dar potencia a los dispositivos son los paneles y las baterías, tomando en cuenta que las horas picos de sol en Trujillo es de 1.6 h y el factor de diseño recomendado por el fabricante es de 13, entonces la intensidad de la batería es:

$$I_{\text{batería}} = \frac{C_{\text{útil}}}{H. S. P * F_d}$$

$$I_{\text{batería}} = \frac{1092.75Ah}{1.6 h * 13} = 52.54 A$$

Ahora, solo se resta para hallar la intensidad de los paneles, considerando que el mes crítico o de más horas sol pico es febrero con 186 A.

$$I_{\text{panel}} = I_{\text{mes}} - I_{\text{batería}} = 133.5 A$$

Luego se debe utilizar el factor de diseño para paneles con células policristalinas, considerando que el factor de diseño recomendado es de 0.7.

$$I_{\text{panelp}} = \frac{133.5 A}{0.7} = 190.7 A$$

Finalmente, se calcula el número de paneles tomando en cuenta que I_{mp} (corriente máxima de pico) es igual a 8.62 A y el V_{mp} (Voltaje máximo pico) es 17.4 V. Estos valores son proporcionados al momento de adquirir un panel policristalino de 150Wp.

$$N^{\circ}_{pp} = \frac{I_{panelp}}{I_{mp}} = \frac{190.7A}{8.62 A} = 22$$

$$N^{\circ}_{ps} = \frac{V_{sistema}}{V_{mp}} = \frac{24 V}{17.4 V} \approx 2$$

3.5.2.5. Dimensionamiento de Inversor

El objetivo del inversor es transformar la corriente DC a AC, teniendo como dato, que la potencia nominal del inversor es de 1500W y la potencia pico máxima es de 2400W.

$$N^{\circ}_{inversores} = \frac{W_{dispositivoAC}}{W_{nominal inversor}} = \frac{1540 W}{1500 W} = 1$$

3.5.3. Selección de dispositivos

Con los parámetros calculados, se determina un panel solar con pacas policristalinas de 150Wp que son 22 en paralelo y 2 conectados en serie mostrado en la figura 49, además de una batería con capacidad de carga de 250 Ah que se conectan 5 en paralelo y 2 en serie mostrado en la figura 50. Ambos componentes se pueden adquirir en “Autosolar Energía del Perú”.



Figura 49. Placa solar policristalina
Fuente: Autosolar Energía del Perú²⁷

²⁷ Para más información: (<https://autosolar.pe/baterias-agm-12v/bateria-agm-250ah-12v-kaise>)



Figura 50. Batería de 250 Ah
Fuente: Autosolar Energía del Perú²⁸

Además, es necesario integrarlo con un inversor mostrado en la figura 51, pues la resistencia eléctrica es el único componente que opera con corriente AC. De acuerdo con el cálculo, requiere solo uno de potencia nominal de 1500 W y potencia pico máximo de 2400 W.



Figura 51. Inversor Cargador 1500W 12V
Fuente: Autosolar Energía del Perú²⁹

²⁸ Para más información: (<https://autosolar.pe/baterias-agm-12v/bateria-agm-250ah-12v-kaise>)

²⁹ <https://autosolar.pe/inversores-12v/inversor-cargador-1000w-12v-mppt-40a-must-solar>

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Simulaciones

En la figura 52, se realiza la simulación de la unidad de control, implementado con todos sus componentes electrónicos con los que interactúa. El puerto A y D se configuró como entradas, mientras los puertos B y C como salidas.

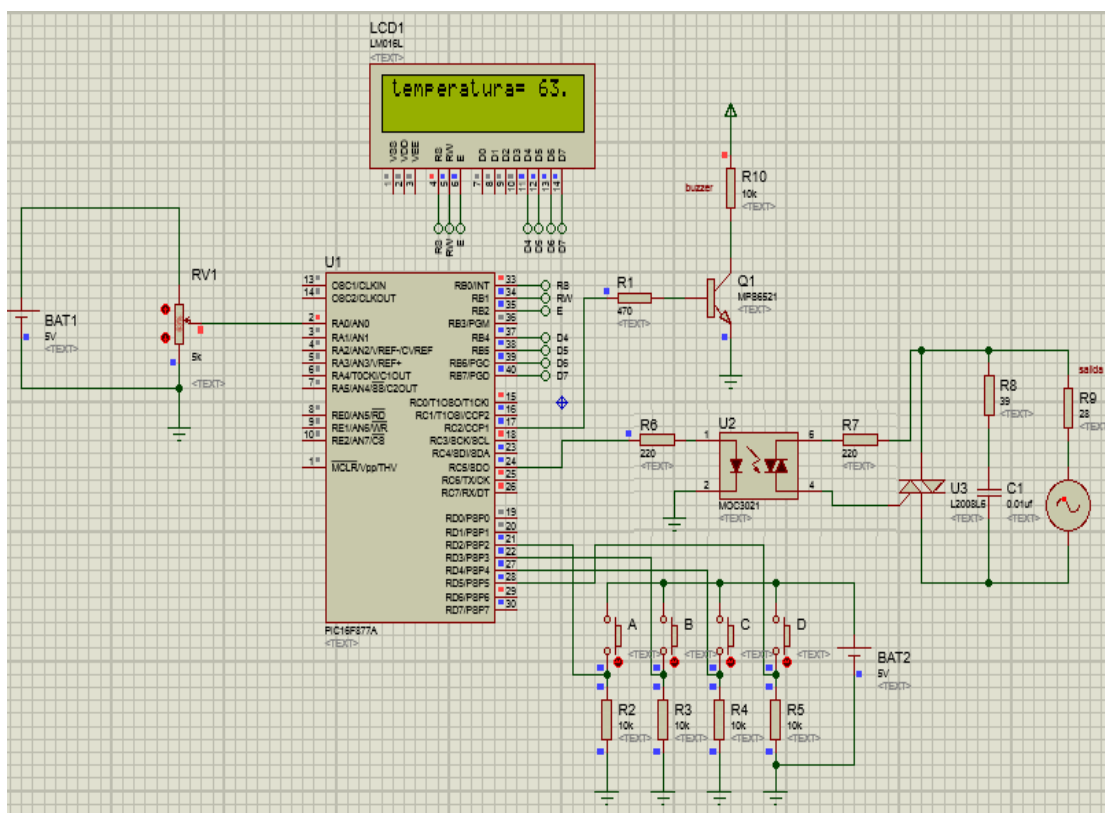


Figura 52.Simulación de la unidad de control
Elaborado por: Autor del proyecto

En la figura 53, se muestra la placa impresa que será montada en la parte inferior de la estructura.



Figura 53. Placa impresa en físico
Elaborado por: Autor del proyecto

4.1.1. Menú de selección modo manual o automático

4.1.1.1. Modo Manual

Con los pulsadores A y B se puede configurar la temperatura de trabajo, como se observa en la figura 54, la temperatura de la línea 1 refleja lo que detecta el sensor en ese instante, y la temperatura de la segunda línea es lo que se está configurando con los pulsadores mencionados.

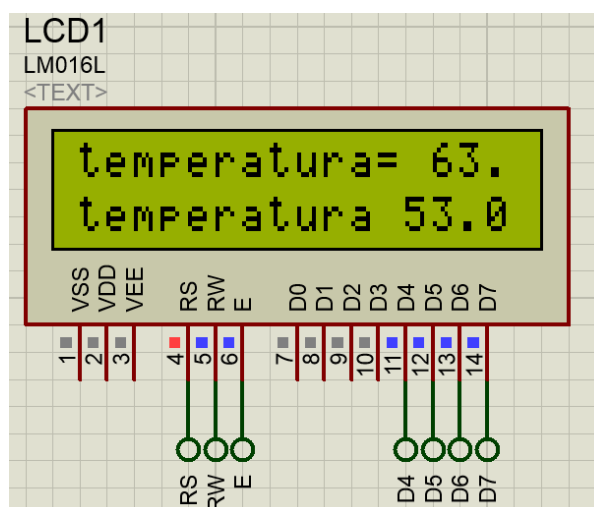


Figura 54. Configuración de temperatura máxima.
Elaborado por: Autor del proyecto

De la misma forma, con los pulsadores C y D se puede configurar la humedad mínima que debe tener el alimento como producto final, como se observa en la figura 55.

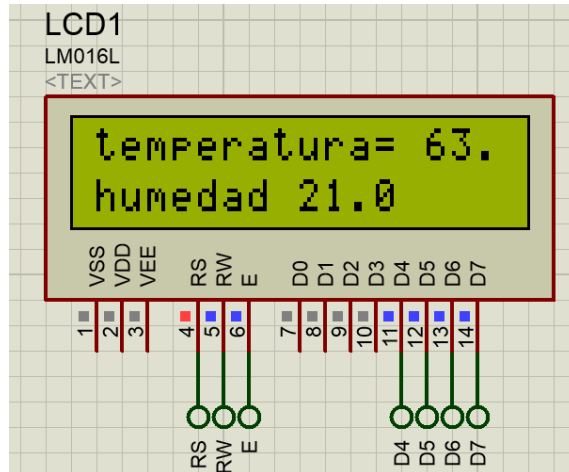


Figura 55. Configuración de humedad mínima
Elaborado por: Autor del proyecto

4.1.1.2. Modo Automático

El modo automático está programado por defecto, pues si el usuario no configura nada con los pulsadores, entonces se entiende que la temperatura máxima y humedad mínima de trabajo será lo que el programa tiene ya definido, como se muestra en la figura 56.

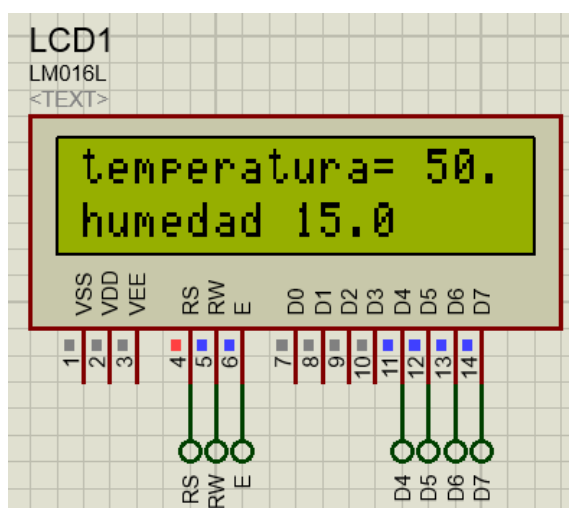


Figura 56. Parámetros definidos en modo automático
Elaborado por: Autor del proyecto

4.1.2. Pruebas experimentales

Luego de finalizar el trabajo de fabricación se procedió a realizar las pruebas y verificar su correcto funcionamiento. En la figura 57 se observa 100g de ajos en una bandeja, que en 5 bandejas hacen un total de 500 gramos.



Figura 57. Ingreso de rebanadas de ajos
Elaborado por: Autor del proyecto

4.1.2.1. Variación en la configuración del sistema de control

Las dos variables que influyen en el deshidratador son la humedad y temperatura. Para los experimentos mostrados a continuación se realizaron con solo 500g de ajo distribuidos uniformemente en las 5 bandejas.

A medida que se varía la temperatura en rangos diferentes al recomendado, se observa que: a mayor temperatura, disminuye el tiempo de secado. En la tabla 12 se observa algunos valores promedios en diferentes experimentos realizados con rodajas de ajos de un espesor de 3mm.

Tabla 12: Experimento a diferentes temperaturas

	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3
Temperatura	40 °C	50 °C	60 °C
Tiempo	6 horas	4.15 horas	3 horas

Elaborado por: Autor del proyecto

No se aumentó la temperatura por encima de los 60°C porque es su máximo valor que admite el ajo para no perder sus propiedades nutritivas y sabor.

En el caso de variar la humedad también se reflejaron resultados en el tiempo del proceso y en la calidad del producto final como se muestra en la tabla 13.

Tabla 13: Experimento a diferentes humedades

10 % HR	La máquina llegó a trabajar aproximadamente el doble de su tiempo promedio con la temperatura seleccionada y no llegó a la condición de apagado. El ajo perdió el 95% de agua en promedio.
15 % HR	Humedad con la cual se obtuvieron los mejores resultados de calidad y tiempo. Esta humedad en la que se basaron los resultados que se presentan más adelante. El ajo pierde casi el 90% de agua en un tiempo de 3 horas aproximadamente.
20 % HR	El tiempo del proceso se reduce en un 15% aproximadamente, pero dependiendo del grosor del ajo se obtienen resultados diferentes. Como producto final, se pierde entre 75 -80% de humedad relativa.

Elaborado por: Autor del proyecto

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Se diseñó y construyó una máquina deshidratadora automática usando una resistencia calefactora trabajando a 220VAC que emite el calor requerido por las bandejas para provocar la evaporación del agua del interior de los alimentos por métodos de transferencia de calor como la convección, conducción y radiación.
2. La adecuada selección del controlador facilitó la automatización del proceso, además el poseer muchos pines se logró implementar mejoras al diseño original.
3. Se realizó un manual de fácil entendimiento para su correcto uso, además de contribuir con un aumento en la vida útil de la máquina y obtener mejores resultados.
4. A través de la observación de los productos finales de un proceso, se percibe diferencias en los productos, como el brillo, el dulzor, la textura, entre otros, que afectan considerablemente su calidad y color, lo cual es de gran interés para estudios posteriores.

RECOMENDACIONES

1. Para mejorar el resultado es necesario implementar un sistema de control permanente de control de temperatura con la finalidad de mantener constante la cantidad de calor a la que el alimento está sometido
2. Se tiene que profundizar más tecnologías de utilización de energía solar que permitan mejorar y aplicar en sitios donde no haya acceso a la energía eléctrica, sustituyendo el sistema eléctrico por paneles fotovoltaicos.
3. Si el usuario desconoce la temperatura y humedad de trabajo de los alimentos, es recomendable solo seleccionar el modo automático que se visualiza en el menú inicial en el LCD.
4. Se debe tener cuidado en la selección de los materiales que se van a elegir para el deshidratador, pues el manejo de los alimentos es muy delicado y puede fácilmente contaminarse, además se debe respetar las normas de sanidad

BIBLIOGRAFÍA

1. Abella, J., Reyes, J., & Mora, J. (2013). *Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico híbrido y desarrollo de su regulador de carga aplicando instrumentación virtual. Elementos*, 2(2). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.
2. Aguirre, H., & Orozco, C. (11 de agosto de 2009). System Dynamic of an electrical oven and a gas oven retrofit. *Scientia et Technica*, 339-344.
3. Alfredo, Meza, & Chimarro. (2016). *Diseño y construcción de una deshidratadora automática para frutas y verduras para la empresa SENSORTECSA SA (Tesis de licenciatura)*. Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, Ecuador.
4. Bazán , J. (2012). *Diseño de sistema concentrador solar cilíndrico-parabólico para proceso de deshidratación de alimentos. (Tesis de Grado)*. Universidad de Piura, Piura, Perú.
5. Budynas, R., & Nisbett , J. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. Monterrey, México. McGraw -Hill.
6. Bueno , F., & Paredes , J. (2017). *Desarrollo de un sistema de deshidratado de fruta de bajo costo mediante el control de temperatura para Pymes(Tesis de grado)*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima, Perú.
7. Cáceres , J. (2014). . *Análisis de un sistema de autoconsumo híbrido fotovoltaico (Tesis de Grado)*. Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, España.
8. Camargo, A., & Villamizar, E. (2008). *Control de temperatura de un horno por medio de lógica difusa(Tesis de grado)*. Universidad Pontifica Bolivariana .

9. Castaño, J., & Londoño, F. (2017). *Diseño y simulación de un sistema de deshidratación de fresa con energías alternativas* (Tesis de titulación). Universidad Militar Nueva Granada.
10. Cengel, & Boles. (2012). *Termodinámica*. MacGraw -Hill, México.
11. Condori, S. (2017). *DISEÑO DEL CONTROL DE TEMPERATURA PARA UN HORNO INDUSTRIAL, MEDIANTE LA MODULACION DE ANCHO DE PULSO USANDO UN PLC DE GAMA ALTA* (Tesis de grado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. Recuperado el 20 de noviembre de 2018, de file:///C:/Users/Silvana/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/Condori_Chahuara_Saul.pdf
12. Condori, S., & Serpa, J. (2017). *Diseño del control de temperatura para un horno industrial, mediante la modulación de ancho de pulso usando un PLC de gama alta* (Tesis de grado). Universidad Nacional del Altiplano-Puno, Puno, Perú.
13. Cotaquispe, L. (2015). *Diseño de una secadora de cacao para una capacidad de 2 Tn/día. (Tesis de Bachiller)*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
14. Díaz , C., & Guerrero , J. (2017). *Diseño de sistema de ventilación accionado por energía solar para uso en deshidratadores solares. (Tesis de Grado)*. Universidad Libre, Colombia.
15. Díaz, L. (2016). *Diseño, construcción y análisis energético de paneles solares de aire forzado para un horno de deshidratado de frutas (Tesis de Maestría)* . Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
16. Díaz, T., & Carmona, G. (2010). *Componentes de una instalación solar fotovoltaica. Técnico en instalaciones eléctricas y automáticas*. Reforma LOE.
17. Erickson, C. (23 de Mayo de 2017).
18. Escrivá, A. (2010). *Diseño, Identificación y control de un prototipo de horno continuo*(Tesina de Máster). Universidad Politécnica de Valencia.
19. FAO. (2018). *Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo -Alcance, causas y prevención, Roma*. Recuperado el 20 de setiembre de 2018, de (http://fucoa.cl/manual_residuos/files/assets/common/downloads/publication.pdf)
20. Garcia et al. (2018). *DryEcoMate—An horticultural dehydrator, using solar thermal and photovoltaic energy, low cost production, modular and portable*. Instituto Politécnico de Setúbal, Setúbal, Portugal.
21. García, L., Mejía, M., Mejía, D., & Valencia , C. (2012). *Diseño y construcción de un deshidratador solar de frutos tropicales*. AVANCES Investigación en Ingeniería, Bogotá.
22. Gascón, A. (2011). *Estudio de procesos de deshidratación industrial de ajo con la finalidad de preservar alicina como principio bioactivo. (Tesis de Grado)*. Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.
23. Gómez, J. (2015). *Diseño y construcción de un sistema cíclico de colección, transporte y descarga de energía solar térmica para un deshidratador solar en el*

- Municipio de San Juan del Río, Qro. (Tesis de Grado)* . Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Chiapas, México.
24. Guasch, D. (2003). *Modelado y análisis de sistemas fotovoltaicos. (Tesis de Doctorado)*. Universidad Politécnica de Cataluña, Catalunya, Barcelona.
 25. Hernández, W. (2007). *Diseño y construcción de un modelo automático de control de temperatura para un horno industrial(Tesis de grado)*. Universidad Tecnológica de Pereira.
 26. Malvino, D. (2007). *Principios de Electrónica 7ª edición*. Madrid, España .
 27. Martínez, J., Herrera, R., & Díaz, J. (2016). *Deshidratación de alimentos utilizando energía solar térmica. CULCyT*. Universidad Tecnológica de Ciudad, Juárez.
 28. Mayorga , E., & Viveros, A. (2018). *Diseño e Implementación de un Prototipo de Deshidratador Híbrido (Solar-Eléctrico) e Implementación de su Sistema de Control. (Tesis de Grado)*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.
 29. Meza, J. (2011). *Optimización del proceso de deshidratado de productos mediante la automatización basado en la cibernética y la robótica(Tesis de grado)*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú .
 30. Mujumdar, A. (2006). *Handbook of Industrial Drying.EUA: Marcel Dekker, Inc.*
 31. Orrego, C. (2003). *Procesamiento de alimentos*. Universidad Nacional de Colombia sede Manzanales , colombia.
 32. Peinado, J., Vidal, R., Grado, J., & Gámndara, J. (2013). *Deshidratación de alimentos utilizando energía solar térmica*. Universidad Tecnológica de Ciudad , Juarez.
 33. Reyes, H., & Montaña, M. (2010). *Modelamiento y control digital de temperatura para horno eléctrico(Tesis de grado)*. Pontifica Universidad Javeriana, Bogotá.
 34. Ruiz , V., & Silva, M. (2005). *Radiación Solar: medidas y cálculos*. Universidad de Sevilla.
 35. Salas, D. (2016). *proyectosperuanos.com*. Recuperado el 30 de setiembre de 2018, de Ajos.: <http://proyectosperuanos.com/ajos/>
 36. Sears, F., Zemansky , M., Young , H., & Freedman , R. (2004). *Física Universitaria Volumen I Decimotercera Edición*. México: Pearson Educación.
 37. Valdiviezo, P. (2014). *Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP*. Universidad Católica del Perú .
 38. Vidal, A. (2013). *Diseño y construcción de un deshidratador híbrido con energías alternas. (Tesis de bachiller)*. Instituto Politécnico Nacional, México DF, México.

INDICE DE ANEXOS

Pág.

ANEXO 1: Ficha de tarea investigación.....	89
ANEXO 2: Datasheet del microcontrolador.....	91
ANEXO 3: Datasheet del Sensor DHT22.....	95
ANEXO 4: Plano de estructura.....	98
ANEXO 5: Programación del PIC.....	99
ANEXO 6: Manual de Uso.....	101
ANEXO 7: Diseño de la placa impresa	102
ANEXO 8: Fotos del equipo deshidratador	103

ANEXOS

ANEXO 1: Ficha de tarea investigación

1. Título del trabajo de la tarea de investigación propuesta

Título: Implementación de un deshidratador híbrido con paneles fotovoltaicos

2. Indique el número de alumnos posibles a participar en este trabajo. (máximo 2)

Número de Alumnos: 2

3. Indique si el trabajo tiene perspectivas de continuidad después que el alumno obtenga el Grado Académico para la titulación por la modalidad de tesis o no.

Si.

4. Enuncie 4 o 5 palabras claves que le permitan al alumno realizar la búsqueda de información para el Trabajo en Revistas Indizadas en WOS, SCOPUS, EBSCO, SciELO, etc desde el comienzo del curso y otras fuentes especializadas.

Ejemplo:

Palabras Claves	DOAJ	DOAR	OTRO
Palabra 1:	fruit dehydrator	Deshidratación de frutos	
Palabra 2:	solar dehydrator	Dehydration solar energy	
Palabra 3:	Desidrator solar panel	Frutos deshidratados	
Palabra 4:	photovoltaic dehydrator	fotovoltaica	

5. Como futuro asesor de investigación para titulación colocar:

(Indique sus datos personales)

- a. Nombre _____
- b. Código Docente _____
- c. Correo _____
- d. Teléfono _____
- e. Otro: _____

6. Especifique si el Trabajo de investigación:

(Marcar con un círculo la que corresponde, puede ser más de una)

- a. Contribuye a un trabajo de investigación de una Maestría o un doctorado de algún profesor de la UTP,
- b. Si está dirigido a resolver algún problema o necesidad propia de la organización,
- c. Si forma parte de un contrato de servicio a terceros,

d. corresponde a otro tipo de necesidad o causa (Explicar cuál):

- Corresponde a un trabajo de tesis de Ingeniería para los estudiantes.

7. Explique de forma clara y comprensible al alumno los objetivos o propósitos del trabajo de investigación.

- Diseñar un sistema de deshidratación que permita deshidratar frutos, utilizando la energía solar natural más la energía solar obtenida con paneles fotovoltaicos para implementar equipos que permitan optimizar el sistema.

8. Brinde al alumno una primera estructuración de las acciones específicas que debe realizar para que le permita al alumno iniciar organizadamente su trabajo y satisfacer los cuatro logros del curso.

- Búsqueda de información en revistas especializadas.
- Elaboración de estado de arte.
- Diseño de la investigación.

9. Incorpore todas las observaciones y recomendaciones que considere de utilidad al alumno y a los profesores del curso para poder desarrollar con éxito todas las actividades.

- Utilizar buscadores especializados.
- Filtrar palabras claves.
- Realizar búsqueda con palabras claves en inglés.

10. Fecha y docente que propone la tarea de investigación

Fecha de elaboración de ficha: 30/Enero / 2018

Docente que propone la tarea de investigación: PORTILLO MENDOZA, Pedro Miguel.

11. Esta Ficha de Tarea de Investigación ha sido aprobada por:

(Sólo para ser llenada por la Dirección Académica)

Nombre: _____

Código: _____

Documento de Identidad _____

Fecha de aprobación de ficha _____ / _____ / _____

ANEXO 2: Datasheet del microcontrolador

PIC 16F877A

Fuente: Microchip



PIC16F87XA

28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers

Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873A
- PIC16F876A
- PIC16F874A
- PIC16F877A

High-Performance RISC CPU:

- Only 35 single-word instructions to learn
- All single-cycle instructions except for program branches, which are two-cycle
- Operating speed: DC – 20 MHz clock input
DC – 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of Flash Program Memory,
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM),
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to other 28-pin or 40/44-pin
PIC16CXXX and PIC16FXXX microcontrollers

Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,
can be incremented during Sleep via external
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™
(Master mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver
Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address
detection
- Parallel Slave Port (PSP) – 8 bits wide with
external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for
Brown-out Reset (BOR)

Analog Features:

- 10-bit, up to 8-channel Analog-to-Digital
Converter (A/D)
- Brown-out Reset (BOR)
- Analog Comparator module with:
 - Two analog comparators
 - Programmable on-chip voltage reference
(VREF) module
 - Programmable input multiplexing from device
inputs and internal voltage reference
 - Comparator outputs are externally accessible

Special Microcontroller Features:

- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash
program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM
memory typical
- Data EEPROM Retention > 40 years
- Self-reprogrammable under software control
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™)
via two pins
- Single-supply 5V In-Circuit Serial Programming
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC
oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving Sleep mode
- Selectable oscillator options
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins

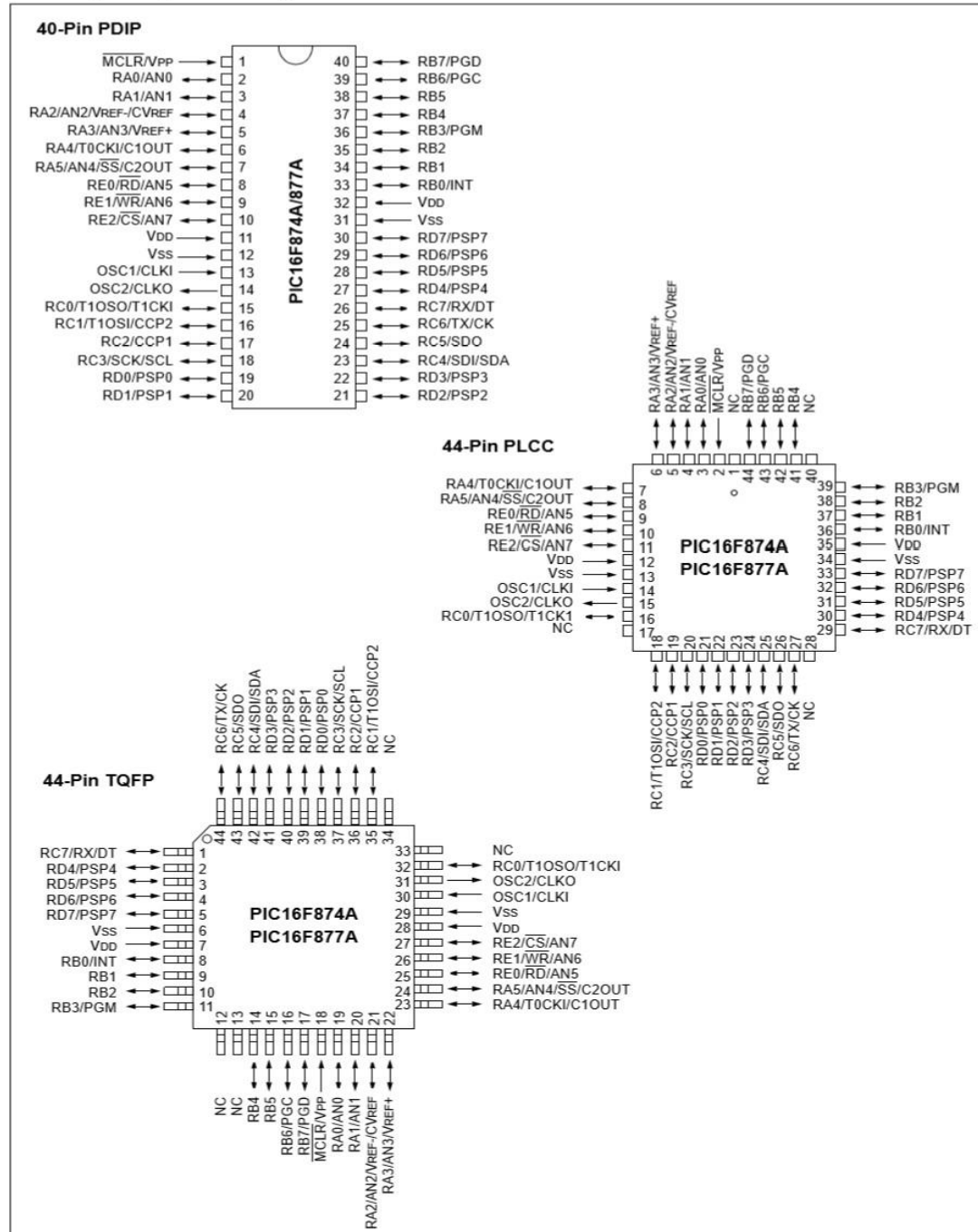
CMOS Technology:

- Low-power, high-speed Flash/EEPROM
technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low-power consumption

Device	Program Memory		Data SRAM (Bytes)	EEPROM (Bytes)	I/O	10-bit A/D (ch)	CCP (PWM)	MSSP		USART	Timers 8/16-bit	Comparators
	Bytes	# Single Word Instructions						SPI	Master I²C			
PIC16F873A	7.2K	4096	192	128	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F874A	7.2K	4096	192	128	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F876A	14.3K	8192	368	256	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F877A	14.3K	8192	368	256	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2

PIC16F87XA

Pin Diagrams (Continued)



PIC16F87XA

1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device specific information about the following devices:

- PIC16F873A
- PIC16F874A
- PIC16F876A
- PIC16F877A

PIC16F873A/876A devices are available only in 28-pin packages, while PIC16F874A/877A devices are available in 40-pin and 44-pin packages. All devices in the PIC16F87XA family share common architecture with the following differences:

- The PIC16F873A and PIC16F874A have one-half of the total on-chip memory of the PIC16F876A and PIC16F877A
- The 28-pin devices have three I/O ports, while the 40/44-pin devices have five
- The 28-pin devices have fourteen interrupts, while the 40/44-pin devices have fifteen
- The 28-pin devices have five A/D input channels, while the 40/44-pin devices have eight
- The Parallel Slave Port is implemented only on the 40/44-pin devices

The available features are summarized in Table 1-1. Block diagrams of the PIC16F873A/876A and PIC16F874A/877A devices are provided in Figure 1-1 and Figure 1-2, respectively. The pinouts for these device families are listed in Table 1-2 and Table 1-3.

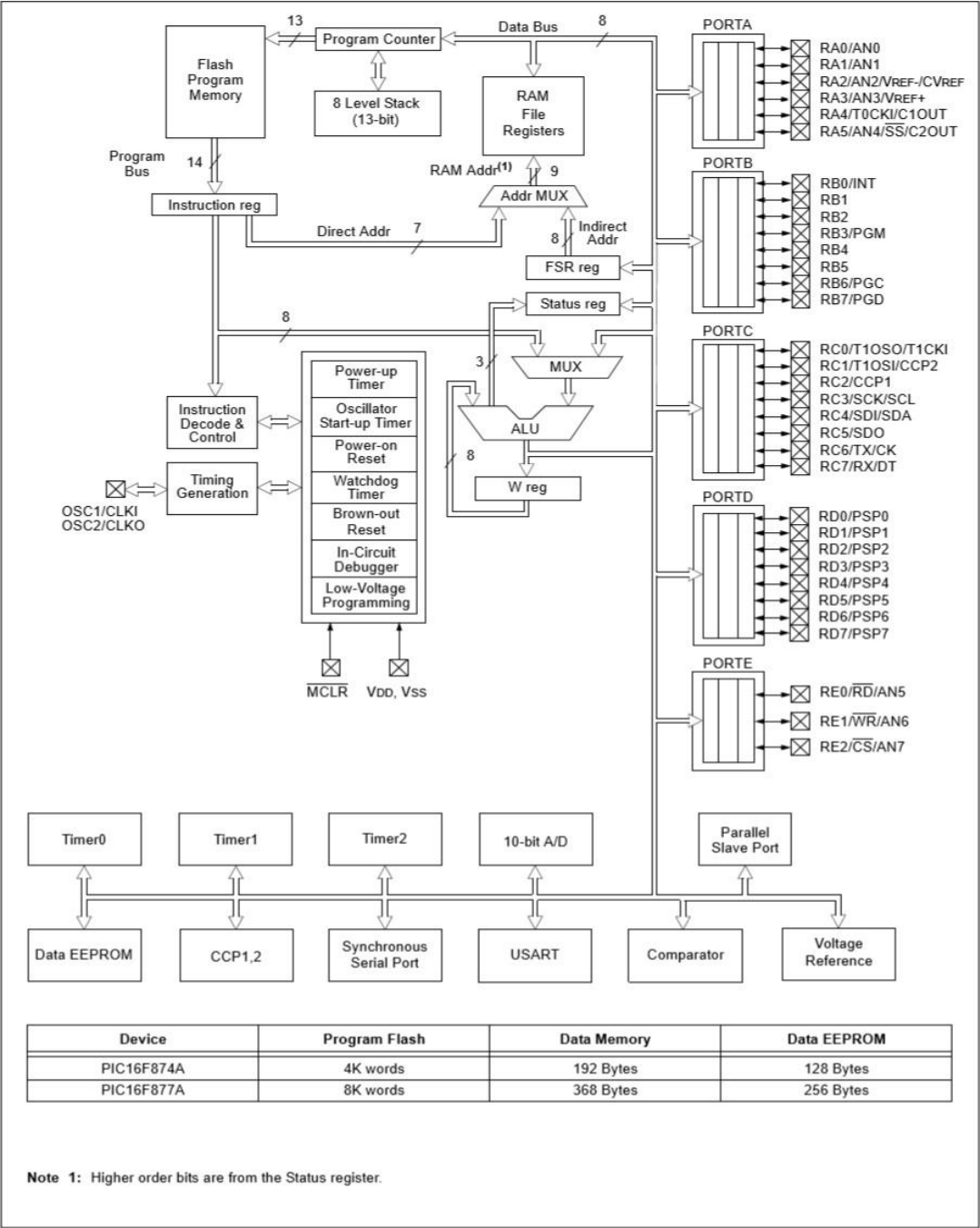
Additional information may be found in the PICmicro® Mid-Range Reference Manual (DS33023), which may be obtained from your local Microchip Sales Representative or downloaded from the Microchip web site. The Reference Manual should be considered a complementary document to this data sheet and is highly recommended reading for a better understanding of the device architecture and operation of the peripheral modules.

TABLE 1-1: PIC16F87XA DEVICE FEATURES

Key Features	PIC16F873A	PIC16F874A	PIC16F876A	PIC16F877A
Operating Frequency	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz
Resets (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
Flash Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory (bytes)	128	128	256	256
Interrupts	14	15	14	15
I/O Ports	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Analog Comparators	2	2	2	2
Instruction Set	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions
Packages	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN

PIC16F87XA

FIGURE 1-2: PIC16F874A/877A BLOCK DIAGRAM



ANEXO 3: Datasheet del Sensor DHT22

DHT22

Fuente: Aosong Electronics Co., Ltd

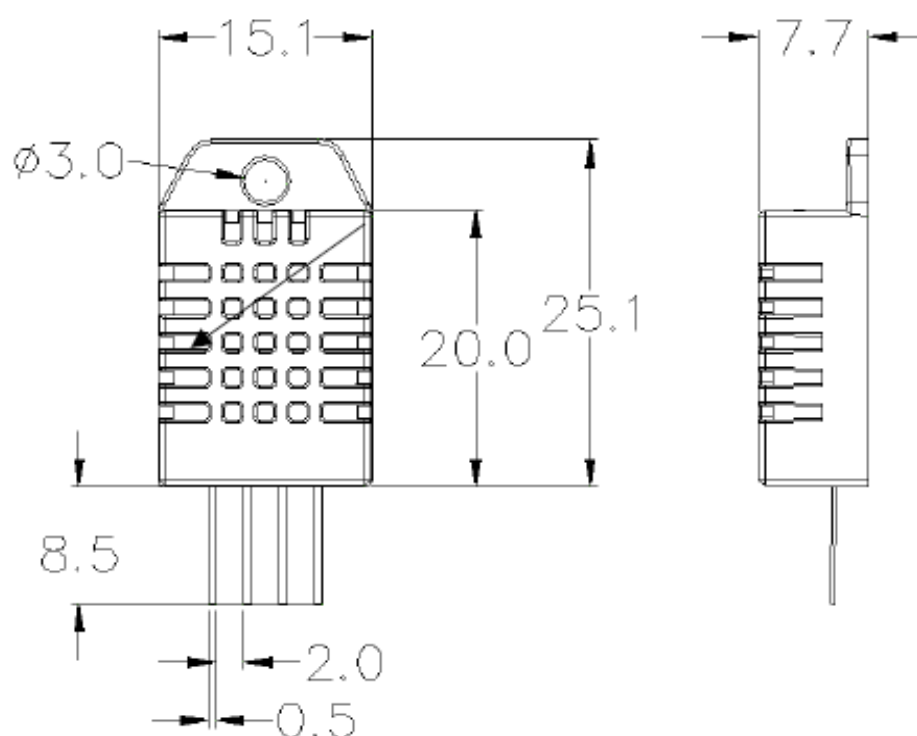
Aosong Electronics Co.,Ltd

1. Technical Specification:

Model	DHT22
Power supply	3.3-6V DC
Output signal	digital signal via single-bus
Sensing element	Polymer capacitor
Operating range	humidity 0-100%RH; temperature -40~80Celsius
Accuracy	humidity $\pm 2\%$ RH(Max $\pm 5\%$ RH); temperature ± 0.5 Celsius
Resolution or sensitivity	humidity 0.1%RH; temperature 0.1Celsius
Repeatability	humidity $\pm 1\%$ RH; temperature ± 0.2 Celsius
Humidity hysteresis	$\pm 0.3\%$ RH
Long-term Stability	$\pm 0.5\%$ RH/year
Sensing period	Average: 2s
Interchangeability	fully interchangeable
Dimensions	small size 14*18*5.5mm; big size 22*28*5mm

2. Dimensions: (unit—mm)

1) Small size dimensions: (unit—mm)

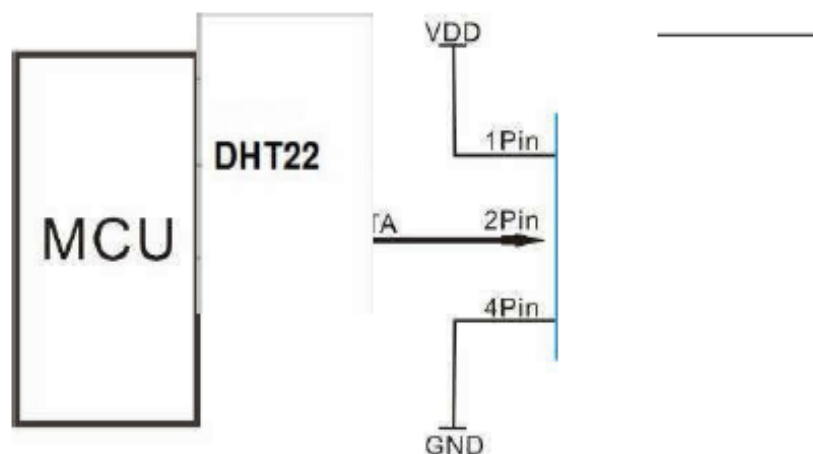


Aosong Electronics Co.,Ltd

Pin sequence number: 1 2 3 4 (from left to right direction).

Pin	Function
1	VDD—power supply
2	DATA—signal
3	NULL
4	GND

3. Electrical connection diagram:



3Pin—NC, AM2302 is another name for DHT22

4. Operating specifications:

(1) Power and Pins

Power's voltage should be 3.3-6V DC. When power is supplied to sensor, don't send any instruction to the sensor within one second to pass unstable status. One capacitor valued 100nF can be added between VDD and GND for wave filtering.

(2) Communication and signal

Single-bus data is used for communication between MCU and DHT22, it costs 5mS for single time communication.

Data is comprised of integral and decimal part, the following is the formula for data.

Aosong Electronics Co.,Ltd

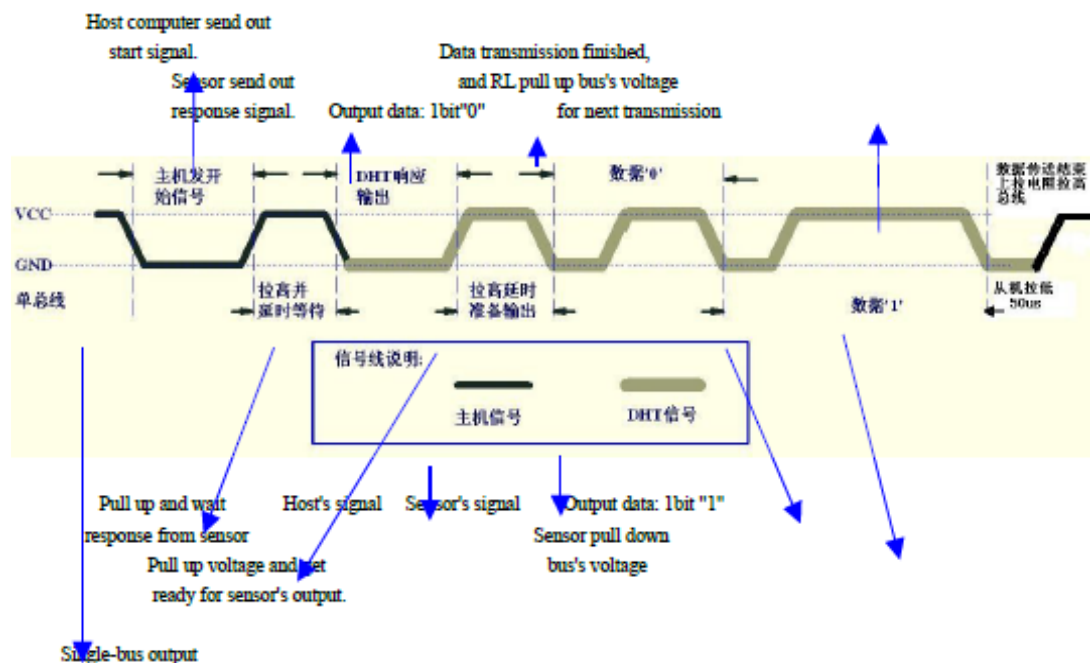
DHT22 send out higher data bit firstly!

DATA=8 bit integral RH data+8 bit decimal RH data+8 bit integral T data+8 bit decimal T data+8 bit check-sum

If the data transmission is right, check-sum should be the last 8 bit of "8 bit integral RH data+8 bit decimal RH data+8 bit integral T data+8 bit decimal T data".

When MCU send start signal, DHT22 change from low-power-consumption-mode to running-mode. When MCU finishes sending the start signal, DHT22 will send response signal of 40-bit data that reflect the relative humidity and temperature information to MCU. Without start signal from MCU, DHT22 will not give response signal to MCU. One start signal for one time's response data that reflect the relative humidity and temperature information from DHT22. DHT22 will change to low-power-consumption-mode when data collecting finish if it don't receive start signal from MCU again.

1) Check bellow picture for overall communication process:



5. Electrical Characteristics:

Item	Condition	Min	Typical	Max	Unit
Power supply	DC	3.3	5	6	V
Current supply	Measuring	1		1.5	mA
	Stand-by	40	Null	50	uA
Collecting period	Second		2		Second

*Collecting period should be : >2 second.

Technical drawing of a food dehydrator machine, showing three views: front, top, and side. The drawing includes dimensions in millimeters (mm) and a note indicating that the four side pieces are equal.

Front View Dimensions:

- Overall width: 349,00
- Overall height: 640,00
- Top section width: 299,00
- Top section height: 290,00
- Bottom section width: 280,00
- Bottom section height: 400,00

Top View Dimensions:

- Overall width: 399,00
- Overall depth: 437,00
- Inner width: 339,00
- Inner depth: 399,00
- Side flange width: 19,00
- Bottom flange width: 19,00
- Bottom flange angle: 9,00 x 45°

Side View Dimensions:

- Overall width: 255,00
- Inner width: 217,00
- Side flange width: 19,00
- Side flange angle: 9,00 x 45°

Note: 4 PIEZAS IGUALES (4 equal pieces)

ANEXO 5: Programación del PIC

```
#include <16f877a.h>
#device adc=8
#fuses hs,nowdt,NOWDT,XT, NOPUT, NOPROTECT, NODEBUG, NOBROWNOUT, NOLVP,
NOCPD
#use delay(clock=4M)
#define lcd_data_port getenv("sfr:portb")
#define lcd_rs_pin pin_b0
#define lcd_rw_pin pin_b1
#define lcd_enable_pin pin_b2
#include <lcd.c>
#use fast_io(D)
#use RS232(BAUD=9600,BITS=8,PARITY=N,XMIT=PIN_C6,RCV=PIN_C7)
#use standard_io(a,c) //usamos la configuracion estandar

void main()
{
    int16 q;
    float temp;
    float humed;
    int1 sube_tmp;
    int1 baja_tmp;
    int1 sube_humedad;
    int1 baja_humedad;
    float setpoint;
    set_tris_c(0b00000000); // float respuesta;
    set_tris_d(0b00111111);
    input_state(PIN_D2);
    input_state(PIN_D3);
    input_state(PIN_D4);
    input_state(PIN_D5);
    output_low(PIN_C5);
    setup_adc_ports(an0);
    setup_adc(adc_clock_internal);
    setup_ccp1(CCP_PWM); //habilitamos el puerto ccp1 pwm
    setup_timer_2(T2_DIV_BY_16,255,1); //usamos el timer 2

    lcd_init();

    temp = 20;
    humed= 44;
    while(true)
    {

        sube_tmp= input(PIN_D2);
        baja_tmp = input(PIN_D3);
        sube_humedad=input(PIN_D4);
        baja_humedad =input(PIN_D5);

        set_adc_channel(0);
        delay_us(20);
        lcd_gotoxy(1,1);
        q=read_adc();
        setpoint=(q*100)/255.0;
        set_pwm1_duty (0);
```

```

    printf(lcd_putc,"temperatura= %1.1f ",setpoint);
// printf(lcd_putc,"\n%1.1f ",p);
    set_pwm1_duty (100);

    if ( sube_tmp ==1){

        temp=temp+0.5;
        lcd_gotoxy(1,2);
        printf(lcd_putc,"temperatura %1.1f ",temp);
    }
        if ( baja_tmp ==1){
            temp=temp-0.5;
            lcd_gotoxy(1,2);
            printf(lcd_putc,"temperatura %1.1f ",temp);
        }
        if ( sube_humedad ==1){
            humed=humed+0.5;
            lcd_gotoxy(1,2);
            printf(lcd_putc,"humedad %1.1f ",humed);
            printf(lcd_putc," ");
        }
        if ( baja_humedad ==1){
            humed=humed-0.5;
            lcd_gotoxy(1,2);
            printf(lcd_putc,"humedad %1.1f ",humed);
            printf(lcd_putc," ");
        }
        if ( sube_tmp ==0 && baja_tmp ==0 && sube_humedad ==0 && baja_humedad ==0 ){

    }

if (setpoint<=50) {

    output_HIGH(PIN_C5);
}

    if(setpoint>50) {

        output_low(PIN_C5);
    }

}

}

```

ANEXO 6: Manual de Uso

Paso 1. Lavar y secar las frutas antes de ponerlo en la máquina.

Paso 2. Cortar las frutas en rebanadas delgadas, se recomienda de 3mm.

Paso 3. Ingrese las rebanadas a las bandejas.

Paso 4. Colocar las bandejas en el interior de la máquina de deshidratado.

Paso 5. Encender el equipo y configurar el modo manual (si el usuario conoce la temperatura máxima y humedad mínima de trabajo de ese alimento) o automático (que son valores de humedad y temperatura generales para la mayoría de los alimentos, proporcionada por el autor del proyecto).

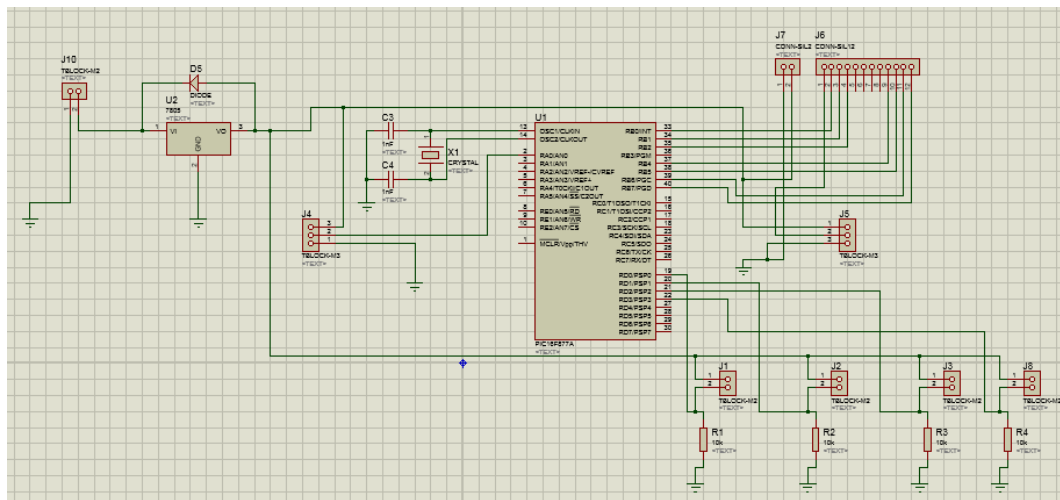
Paso 6. El equipo realiza el deshidratado de la fruta hasta que la humedad relativa del producto sea igual a la humedad configurada al inicio del proceso.

Paso 7. Al terminar el proceso, la máquina emite un sonido de aviso al usuario.

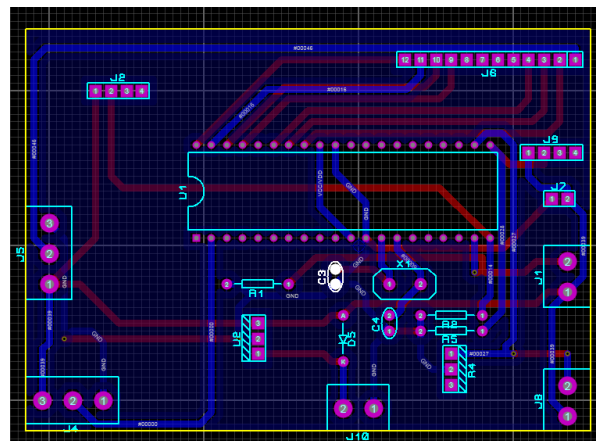
Paso 8. El usuario retira las bandejas con las frutas deshidratadas.

NOTA: Se puede cambiar la posición de las secciones si no se secaron homogéneamente todos los productos. Usted puede colocar las bandejas superiores hacia abajo, más cerca de la fuente de calor y las bandejas inferiores hacia arriba.

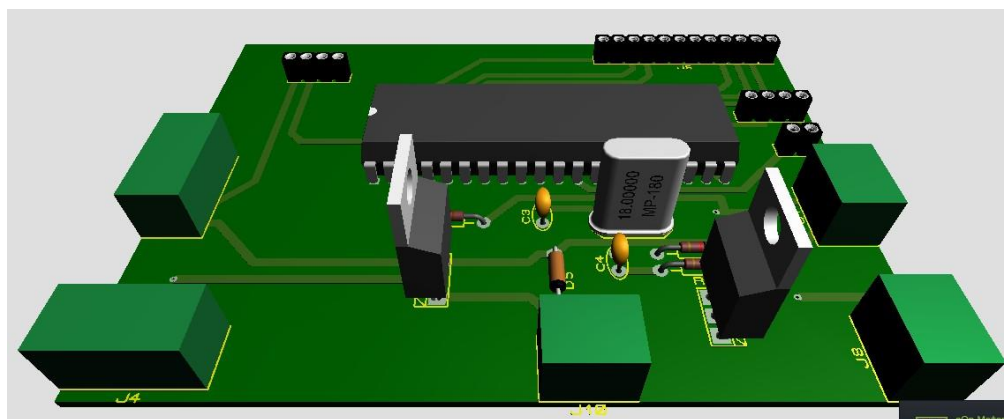
ANEXO 7: Diseño de la placa impresa



Armado de Pines en Proteus



Armado de Circuito electrónico en Ares



Simulación de Circuito electrónico en Ares

ANEXO 8: Fotos del equipo deshidratador



Cámara de secado



Bandeja principal